FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

263

THÈSE

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

TARRIERE Claude

Né à Montsûrs (Mayenne), le 18-7-1933

Un moyen d'étude des accidents inexpliqués :

L'ÉPREUVE DE VIGILANCE

Président : M. ALAJOUANINE, Professeur

- 1960 -

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1960 — **THÈSE** — N° —

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

TARRIERE Claude

Né à Montsûrs (Mayenne), le 18-7-1933

Présentée et soutenue publiquement le 1960

Un moyen d'étude des accidents inexpliqués : L'EPREUVE DE VIGILANCE

Président : M. ALAJOUANINE , Professeur

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

15-1-59

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. Aubin (A.), Bénard (H.), Brocq (P.), Bulliard (H.), Cadenat (F.), Chabrol (E.), Champy (C.), Chevallier (P.), Debré (R.), Donzelot (E.), Gastinel (P.), Guillain (G.), Halphen (E.), Harvier (P.), Hazard (R.), Heuyer (G.), Lantuejoul (P.), Laroche (G.), Laubry (C.), Lévy-Solal (E.), Lhermitte (J.), Lian (C.), Loeper (M.), Marion (G.), Mathieu (P.), Mocquot (P.), Mondor (H.), Monod (R.), Moreau (R.), Mulon (P.), Olivier (E.), Richet (C.), Strohl (A.) Tanon, (L.), Velter (E.).

DOYEN . . . . . Léon BINET.
Membre de l'Institut

ASSESSEUR . . . . . Jean VERNE.

I. — PROFESSEURS

		MM.
Anatomie		CORDIER (G.)
Anatomie (Chaire à titre personnel)		DELMAS (A.)
Anatomie pathologique		DELARUE (J.)
Anesthésiologie		BAUMANN (J.)
Bactériologie		FASQUELLE (R.)
Biochimie médicale		JAYLE (M. F.)
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports		CHAILLEY-BERT (P.)
Biologie médicale		FAUVERT (R.)
Cancérologie médicale et sociale		BERNARD (J.)
Clinique carcinologique (Inst. G. Roussy)		REDON (H.)
Clinique cardiologique (Broussais)		MOUQUIN (M.)
Cliniques chirurgicales	Beaujon	SICARD (A.)
	Cochin	QUÉNU (J.)
	Hôtel-Dieu	MÉNÉGAUX (G.)
	Saint-Antoine	GOSSET (J.)
	Salpétrière	MOULONGUET (P.)
Clinique de chirurgie infantile et orthopédique (Enfants-Malades)		FÈVRE (M.)
Clinique chirurgicale orthopédique et réparatrice (Cochin)		MERLE D'AUBIGNÉ (R.)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire (Broussais)		GAUDART-D'ALLAINES (F. de)
Clinique de chirurgie pleuro-pulmonaire (Laënnec)		MATHEY (J.)
Clinique endocrinologique (Pitié)		DECOURT (J.)
Clinique génétique médicale (Enfants-Malades)		LAMY (M.)
Clinique gynécologique (Broca)		FUNCK-BRENTANO (P.)
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques (St-Louis)		DEGOS (R.)
Clinique des maladies des enfants (Enfants-Malades)		CATHALA (J.)
Clinique des maladies infectieuses (Claude-Bernard)		MOLLARET (P.)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale (Ste-Anne)		DELAY (J.)
Clinique des maladies métaboliques (Necker)		HAMBURGER (J.)
Clinique des maladies du sang (Broussais)		MARCHAL (G.)
Clinique des maladies du système nerveux (Salpétrière)		ALAJOUANINE (T.)
Cliniques médicales	Broussais	GENNES (L. de)
	Cochin	JUSTIN-BESANÇON (L.)
	Hôtel-Dieu	BARIÉTY (M.)
	Lariboisière	SOULIÉ (P.)
	Pitié	DREYFUS (G.)
	St-Antoine	KOURILSKY (R.)
Clinique médicale d'hydrologie thérapeutique et climatologie (Bichat)		DEBRAY (C.)
Clinique médicale propédeutique		PASTEUR VALLERY-RADOT (L.)
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies de la nutrition (Hotel-Dieu)		DEROT (M.)
Clinique de neuro-chirurgie (Pitié)		PETIT-DUTAILLIS (D.)
Cliniques obstétricales	Baudelocque	LACOMME (M.)
	Port-Royal	N...
	Tarnier	VARANGOT (J.)
Clinique ophtalmologique (Hôtel-Dieu)		RENARD (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique (Lariboisière)		AUBRY (M.)
Clinique de pédiatrie Sociale (Enfants-Malades)		MARIE (J.)
Clinique de pneumo-phtisiologie (Laënnec)		BERNARD (E.)
Clinique psychiatrique infantile (Salpétrière)		MICHAUX (L.)
Clinique de puériculture (St-Vincent-de-Paul)		LELONG (M.)
Clinique de rhumatologie médicale et sociale (Cochin)		COSTE (F.)
Clinique stomatologique (Pitié)		DECHAUME (M.)
Clinique thérapeutique chirurgicale (Vaugirard)		SÉNÈQUE (J.)
Clinique thérapeutique médicale (St-Antoine)		LEMAIRE (A.)
Clinique urologique (Cochin)		FEY (B.)
Electrophysiologie médicale (chaire à titre personnel)		DJOURNO (A.)
Embryologie		GIROUD (A.)
Histoire de la médecine et de la chirurgie		N...
Histologie		VERNE (J.)
Hygiène des collectivités (chaire à titre personnel)		DEPARIS (M.)

	MM.
Hygiène et clinique de la première enfance (Trousseau)	TURPIN (R.)
Hygiène et médecine préventive	JOANNON (P.)
Médecine du Travail	DESOILLE (H.)
Médecine légale	PIÉDELIEVRE (R.)
Parasitologie	GALLIARD (H.)
Pathologie chirurgicale	COUVELAIRE (R.)
Pathologie exotique	LAVIER (G.)
Pathologie expérimentale et comparée	LENÈGRE (J.)
Pathologie humorale et immunologie expérimentale (chaire à titre personnel)	MERKLEN (F.-P.)
Pathologie médicale	N...
Pathologie et thérapeutique générales	GARCIN (R.)
Pharmacologie et matière médicale	CHEYMOL (J.)
Physiologie	BINET (L.)
Physiologie (chaire à titre personnel)	BARGETON (D.)
Physique médicale	DOGNON (A.)
Radiologie médicale	DESGREZ (H.)
Technique chirurgicale	PATEL (J.)
Thérapeutique	BROUET (G.)

II. — PROFESSEURS SANS CHAIRE, PROFESSEURS AGRÉGÉS ET MAITRES DE CONFÉRENCES - AGRÉGÉS

	MM.
Anatomie	CABROL (C.) COUINAUD (C.) OLIVIER (G.)
Anatomie pathologique	GAUTHIER-VILLARS (Mlle P.) pr. s. ch. BUSSER (F.) GOUYGOU (Ch.) ORCEL (L.) PAILLAS (J.)
Anesthésiologie	VOURC'H (G.)
Bactériologie	NÉVOT (A.) pr. s. ch. BARBIER (P.) CHRISTOL (D.) TOURNIER (P.)
Biochimie médicale	DESGREZ (P.), pr. s. ch. POLONOSKI (J.), m. conf. SCHAPIRA (G.), m. conf.
Biologie médicale	BOURLIÈRE (F.), m. conf.
Carcinologie	DENOIX (P.) MATHÉ (G.)
Dermato-Syphiligraphie	DUPERRAT (B.)
Electro-Radiologie	LEDOUX-LEBARD (G.)
Embryologie	TUCHMANN-DUPLESSIS (H.)
Hématologie	BILSKI-PASQUIER (G.) DAUSSET (J.)
Histologie	COUJARD (R.) pr. s. ch. MAROIS (M.) RACADOT (J.)
Hydrologie	CORNET (A).
Hygiène	BOYER (J.), pr. s. ch. CORRE-HURST (Mme L.)
Maladies infectieuses	BASTIN (R.) DUPONT (V.)
Médecine légale	DEROBERT (L.), pr. s. ch. HADENGUE (A.) FOURNIER (E.) GUENIOT (M.)
Médecine du travail	ALBAHARY (C.)
Neuro-chirurgie	DAVID (M.)
Neurologie	LHERMITTE (F.)
Obstétrique	GRANJON (A.) HERVET (E.) LE LORIER (G.) MORIN (P.) MUSSET (R.) ROBEY (M.) THOYER-ROZAT (J.)
Ophtalmologie	BRÉGEAT (P.) SARAUX (H.)
Orthopédie	JUDET (R.) RAMADIER (J.)
Oto-rhino-Laryngologie	DEBAIN (J.)
Parasitologie	BRUMPT (L.C.), pr. s. ch. CHABAUD (A.)
Pathologie chirurgicale	BARCAT (J.) BINET (J.-P.) CAUCHOIX (J.) CHATELIN (C.-L.) DUBOST (Ch.) DUBOST (Cl.) FAUREL (J.) FLABEAU (F.) GERMAIN (A.) LAURENCE (G.) agr. par. LORTAT-JACOB (J.-L.) LOYGUE (J.) MERCADIER PERROTIN (J.) ROBERT (H.) THOMERET (G.)
Pathologie exotique	SCHNEIDER (J.)
Pathologie expérimentale	CROSNIER (J.) HARTMANN (L.) LŒPER (J.) MAURICE (J.) PLAS (F.) RICHET (G.)
Pathologie médicale	AUSSANNAIRE (M) BOUR (H.) BOUVIER (J.) BOUVRAIN (Y.) BRICAIRE (H.) BRISSAUD (H.) BROCARD (H.) BUGE (A.) CASTAIGNE (P.), m. conf. CATINAT (J.) CONTAMIN (F.) COURY (C.) FREZAL (J.) HOUSSET (E.) LAROCHE (Cl.) LESOBRE (R.) MACREZ (C.) NICK (J.) PEQUIGNOT (H.) m. conf. ROYER (P.) WOLFROMM (R.)

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549219_0007

	MM.
Pédiatrie-Puériculture	JOSEPH (R.) MANDE (R.) MOZZICONACCI (P.) POLONOVSKI (C.) ROSSIER (A.)
Pharmacologie	LEVY (Mlle J), pr. s. ch. BOISSIER (J.) LECHAT (P.)
Physiologie	PARROT (J.), pr. s. ch. DEJOURS (P.)
Physique médicale	GOUGEROT (L.), m. conf.

	MM.
Pneumo phtisiologie	KREIS (B.)
Psychiatrie	PICHOT (P.)
Psychiatrie infantile	DUCHÉ (D.)
Rhumatologie	DELBARRE (F.)
Stomatologie	CERNÉA (P.) CHAPUT (Mme A.), m.c. agr. GRELLET (M.)
Thérapeutique	CHASSAGNE (P.) LAMOTTE (M.)
Urologie	QUENU (L.)

III. — PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

à titre permanent.

	MM.
Clinique chirurgicale	ABOULKER (P.) AMELINE (A.) HUGUIER (J.) LÉGER (L.) OLIVIER (C.) PADOVANI (P.) POILLEUX (F.) ROUX (M.) VERNE (J.-M.)
Clinique médicale	HAGUENEAU (J.), pr. s. ch. BOUDIN (G.) CONTE (M.) DOMART (A.) MILLIEZ (P.) PERRAULT (M.) RAMBERT (P.) THIEFFRY (S.) TURIAF (J.)

	MM.
Clinique neuro-rhumatologique	SÈZE (S. de)
Clinique obstétricale	GRASSET (J.) LEPAGE (F.) MAYER (M.) MERGER (R.) RAVINA (J.)
Clinique ophtalmologique	DESVIGNES (P.) OFFRET (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique	MADURO (R.)
Clinique pédiatrique et puériculture	LAPLANE (R.)
Clinique psychiatrique	BARUK (H.)
Clinique urologique	KUSS (R.)

IV. — PROFESSEURS DÉTACHÉS DANS LES UNIVERSITÉS ÉTRANGÈRES

Bactériologie . . . . . HAUDUROY (P.) Pr. s. ch.
Biochimie médicale . . . . . ETTORI (J.) Pr. à t. pers.
Pathologie chirurgicale . . . . . RUDLER (J.) Pr. s. ch.

Secrétaire général de la Faculté . . M. LENA (J.)
Secrétaires . . . . . Mme BEURLAND (H.), Mlle CHAINTREUIL (G.), Mlle HURÉ (A.)

Conservateur, chargé de la direction de la Bibliothèque M. le Docteur HAHN (A.)
Conservateurs . . . . . Mlles DUMAITRE (P.), GOICHON (A-M.)
Bibliothécaires . . . . . Mme CONTET (J.), Mlles LAURENT (H.), LE NOIR (G.), QUIÉVREUX (E.)

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considerees comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MES PARENTS.

Leur courage et leur abnégation m'ont permis d'entreprendre des études et d'envisager leur poursuite en Université. Ils sont pour moi l'exemple du travail, de la ténacité et du véritable amour familial paternel et maternel.

A MES BEAUX-PARENTS.

En témoignage de mon affection.

A MON FRERE.

Depuis mes premières années d'internat au collège, il a été pour moi un appui très ferme et un guide sûr. Son sens très aigu des problèmes humains du travail et son expérience approfondie de leurs aspects concrets sont pour moi une source d'enrichissements.

A MES SOEURS,

A MES BELLES-SOEURS et BEAUX-FRERES.

Leur affection m'est précieuse.

A MES AMIS.

A MA FEMME.

A MES FILLES : Catherine, Cécile.

A MON FILS : Bruneau

A MONSIEUR LE PROFESSEUR TH. ALAJOUANINE

Professeur de Clinique des Maladies du Système Nerveux

à la Faculté de Médecine de l'Université de Paris

Médecin de l'Hospice de la Salpétrière.

qui nous a fait le grand honneur
d'accepter la présidence de notre
Jury de thèse.

A NOTRE JURY DE THESE.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR A. SOULAIRAC
Professeur de Psychophysiologie
à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris

dont l'enseignement si animé de ferveur scientifique nous a montré l'intérêt de la recherche dans le domaine de la vigilance et dont les conseils nous ont guidés dans la réalisation de ce travail.

A MONSIEUR LE DOCTEUR A. REMOND
Chef de Laboratoire à la Salpétrière

dont l'accueil bienveillant et la large expérience des manifestations les plus diverses des niveaux de vigilance fut pour nous une aide très efficace.

A MONSIEUR F. PICARD

Directeur des Etudes et Recherches

Régie Nationale des Usines Renault

Vice-Président de l'Institut des Hautes Etudes Scientifiques

A MONSIEUR J. POMEY

Directeur Scientifique

Régie Nationale des Usines Renault

dont la volonté commune d'introduire la physiologie parmi les disciplines scientifiques utilisées dans l'industrie a permis la création du Laboratoire des Etudes Physiologiques et la réalisation de ce travail.

A MONSIEUR LE DOCTEUR A. WISNER,
AUX MEMBRES DU LABORATOIRE des Etudes Physiologiques
et AUX INGENIEURS et TECHNICIENS du Centre Technique Renault

dont les connaissances scientifiques, les compétences techniques ont été des conditions déterminantes de la réalisation de cette étude et dont l'amitié a encouragé notre persévérance.

INTRODUCTION

Jour après jour la collectivité nationale verse à l'accident son inexorable tribut. L'information quotidienne ne nous en donne qu'un pâle reflet et pour un accident dont on parle, combien demeurent méconnus. Les accidents du travail sont encore plus ignorés dans l'opinion publique. Pourtant la fréquence des accidents, par la somme de souffrance qu'elle représente, par le coût économique qu'elle entraîne, constitue pour le pays un des problèmes les plus graves.

Les chiffres sont, dans ce domaine, d'une terrible éloquence.

Les accidents du travail font, en FRANCE, chaque année, un million de victimes parmi les huit millions de salariés affiliés au régime général de la Sécurité Sociale. En un an, 1.000 travailleurs meurent d'accidents survenus au cours du travail ou pendant le trajet ; 60.000 sont gravement blessés, 1.000.000 sont obligés d'interrompre leur travail ; 23.000.000 de journées sont chômées ; 600 millions de nouveaux francs sont dépensés par la Sécurité Sociale pour l'indemnisation et la réparation de ces accidents.

Le coût exact des accidents de la route n'est pas connu mais nous pouvons en donner une estimation. L'incidence financière totale serait de 3,05 milliards de nouveaux francs. Cette somme peut se décompter ainsi :

- 1,5 milliard pour les morts et la réparation des blessures,
- 0,18 milliard pour la réparation des dommages aux véhicules
- 0,20 milliard pour les dépenses d'administration

et nous estimons à 1,2 milliard le coût de la perte des salaires et des frais d'hospitalisation.

L'introduction du facteur humain permit de franchir un pas considérable vers une meilleure compréhension des accidents. Cette nouvelle approche se montra très féconde et continue à recevoir actuellement des développements.

Longtemps exprimée par la seule notion de "prédisposition aux accidents" la considération du facteur humain tend actuellement à faire prévaloir une notion épidémiologique de l'accident. Les hygiénistes modernes peuvent déduire la probabilité d'une épidémie et sa morbidité pour une population déterminée par l'extension donnée aux mesures préventives dans cette population. Il suffit pratiquement qu'un pourcentage élevé de la population ait été vacciné pour empêcher le développement de l'épidémie y compris chez les non-vaccinés.

Il est possible dans le domaine des accidents de prendre en considération des règles aussi générales, aussi rationnelles. Au-delà des différences individuelles le seul jeu du hasard impose inexorablement ses lois. Nous en avons l'exemple suivant emprunté au Professeur METZ : "Considérez un groupe de 500 ouvriers où se produisent au total 300 accidents dans une année. La loi de Poisson nous permet de calculer que, si seul le hasard joue, il y en aura :

- 275 sans accident
- 165 avec 1 accident
- 49 avec 2 accidents
- 10 avec 3 accidents
- 1 avec 4 accidents

c'est-à-dire que 12 % des ouvriers seront victimes de 44 % des accidents. Ceci n'a rien d'étonnant si l'on se rappelle que le hasard est aveugle et qu'il frappe indistinctement ceux qui ont eu et ceux qui n'ont pas eu d'accident".

Et sous le titre "Ne pas confondre récidive et prédisposition" l'auteur poursuit : "Du seul fait des lois de distribution du hasard, un certain nombre d'individus doit donc nécessairement être des polyaccidentés, sans qu'aucun autre facteur ne soit en cause. Par conséquent, pour rattacher le fait d'être polyaccidenté à une cause particulière telle que, par exemple, la prédisposition aux accidents, il faut démontrer que le nombre de polyaccidentés dans le groupe que l'on suppose prédisposé est supérieur à celui qui peut être prévu à partir de cette distribution du seul fait du hasard".

La recherche de la responsabilité individuelle apparaît donc maintenant une préoccupation désuète. De même, dépassant l'optique trop étroite de la prédisposition individuelle les tendances actuelles sont de rechercher ce qui dans l'homme normal peut être cause de défaillance et d'accident. C'est ouvrir le vaste champ d'étude des limites de l'homme et des facteurs d'environnement susceptibles de les modifier.

Le problème des limites de l'homme est devenu d'une grande actualité avec le niveau de développement atteint par la civilisation industrielle moderne. La tendance générale de la vie moderne est de solliciter l'Homme jusqu'à la limite de ses capacités. Cette tendance générale est d'ailleurs inconsciente pour une bonne part et ce n'est pas le moindre de ses dangers. Le climat socio-culturel dans lequel nous baignons ne pose pas le problème des limites de l'Homme du moins dans la vie courante. Ces limites sont d'ailleurs mal connues et certains ne manquent pas de penser que la seule façon de les préciser est de forcer la nature "jusqu'à ce qu'elle se rende".

La recherche des limites de l'homme évoque les classiques épreuves du Marathon, les modernes entraînements aux vols interplanétaires ou encore les ressources prodigieuses de la mémoire si difficile à mettre en défaut chez quelque prestigieux surhomme.

Pourtant il n'est point besoin de vols interplanétaires pour révéler les limites humaines. Il est possible de les trouver pour des performances tellement plus humbles que ces données peuvent alors paraître inattendues. Ainsi une nuit sans sommeil, une élévation d'une ambiance thermique de travail d'une dizaine de degrés au-dessus de la normale peuvent détériorer notablement l'activité humaine. Mais il est un domaine où les limites de l'homme sont si rapidement atteintes qu'il est impossible de ne pas en être surpris. Comment viendrait-il à l'esprit qu'après une demi-heure de travail monotone les possibilités de l'Homme soient dépassées et son efficacité grandement diminuée. Comment soupçonner qu'une durée aussi brève puisse suffire, dans certains cas, à déborder les facultés humaines de l'attention volontaire.

Il fallait en obtenir les preuves expérimentales pour que nous acceptions la réalité.

Ce n'est pas seulement ce souci de la santé de l'Homme et de sa sécurité qui amène un nombre sans cesse croissant de médecins, de psychologues et d'ingénieurs à s'intéresser aux aspects humains de toute activité.

Cet effort est vigoureusement stimulé par les récents progrès techniques. De nouvelles machines voient le jour, souvent très compliquées, toujours fort coûteuses ; des situations nouvelles se créent où la responsabilité de l'Homme se trouve profondément engagée. L'aspect économique de cette évolution pose alors des problèmes d'efficacité et de rendement inséparables des facteurs tenant à l'Homme lui-même.

Aussi sous la double impulsion des soucis de la sécurité et de la productivité une science humaine a pris un nouvel essor depuis la dernière guerre mondiale :

L'ADAPTATION DU TRAVAIL A L'HOMME

Son orientation est bien déterminée : elle veut être un effort de transformation des conditions de travail en tenant compte des données nouvelles fournies par les sciences de l'Homme. Elle suppose donc une connaissance précise des possibilités et des limites de l'Homme dans un champ très vaste qui englobe au moins : l'anatomie, la physiologie, la psychologie, l'anthropométrie et la sociologie. Les données nécessaires n'existent pas toujours ou ne sont pas directement applicables, elle doit donc actuellement contribuer à un effort de recherche qui l'éloigne parfois de son souci d'application pratique.

Le travail que nous présentons s'intègre dans ce cadre général de l'Adaptation du Travail à l'Homme. C'est un effort de recherche des limites de l'homme causé par le développement actuel des situations de travail long et monotone. Nous voulons parler des tâches de vigilance telles qu'elles se trouvent réalisées au contrôle central d'une raffinerie de pétrole, d'un noeud ferroviaire important, d'un aérodrome ou encore dans les modernes centrales énergétiques. Ces tâches de vigilance ne sont pas toujours aussi spectaculaires. Elles sont encore représentées dans l'industrie par la multitude des travaux de surveillance de machines automatiques ou de contrôle de produits finis.

Toutes ces tâches ont en commun de ne fournir qu'un très petit nombre de messages significatifs exigeant des interventions appropriées.

La rareté, l'irrégularité et la faiblesse des signaux entraînent la difficulté du maintien de l'état vigile quand la tâche se prolonge.

La vigilance désigne la forme de comportement psychique mis en jeu dans de telles situations. Nous avons soumis trente sujets à une épreuve de vigilance routière et ils ont montré la même dégradation de vigilance entre la première demi-heure de l'expérience et les demi-heures suivantes. Cette dégradation se traduisait par une baisse significative des signaux correctement observés et signalés.

Séduit par l'intérêt capital à la fois théorique et pratique de l'Adaptation du Travail à l'Homme il nous plaisait de resituer notre humble effort dans ce courant de recherche.

Nous tenions aussi à citer le cadre dans lequel l'ensemble de notre travail a été pensé et mené à bien. Il s'agit d'un laboratoire privilégié en "Adaptation du travail à l'Homme" car directement inséré dans l'industrie, associé étroitement au travail des ingénieurs et maintenu au contact permanent des réalités du travail ; nous voulons parler de l'unité de recherche animée par le Docteur WISNER au Laboratoire d'Etudes Physiologiques de la Régie Nationale des Usines Renault.

PREMIERE PARTIE

BASES PHYSIOLOGIQUES
DES ETATS DE VIGILANCE ET D'ATTENTION

Au terme de vigilance nous donnons une acceptation très générale qui s'apparente à la notion de niveau global d'activité du système nerveux. Il s'agit d'un état fonctionnel permettant les activités nerveuses perceptuelle et motrice avec ce qu'elles supposent de possibilité dans la discrimination des réponses. C'est en ce sens que HEAD pouvait décrire le niveau de vigilance d'une préparation spinale de grenouille. Nous restons ainsi sur le seul plan objectif de la réactivité où il est possible de différencier vigilance et conscience.

Cette distinction est considérée comme une nécessité en neurologie pour séparer "ce qui est du domaine surtout réflexe de la vigilance et d'ordre strictement neurologique et ce qui est du domaine psychophysiologique de la conscience et qui reste beaucoup plus incertain quant à son substratum et son contenu" (ALAJOUANINE 1957).

L'existence d'états de sommeil et de veille, d'états de veille plus ou moins attentive, qu'il est possible d'objectiver par enregistrement électrique du type EEG et EDG sous-tend bien la notion de niveaux de vigilance entendus au sens de niveaux de réactivité centrale.

Les bases physiologiques de la vigilance se sont considérablement développées ces vingt dernières années, grâce à la convergence de données de neurologie clinique, d'histologie et de neurophysiologie. A la lumière de ces données l'état vigile apparaît actuellement comme le résultat d'une régulation très complexe assurée essentiellement par le jeu de relation cortico-sous-corticales intégrant toutes les afférences venant des milieux intérieur et extérieur.

De façon volontairement schématique, nous allons tenter de présenter les données essentielles de cette régulation de la vigilance.

Dans cet exposé nous accorderons une grande place aux formations réticulaires du tronc cérébral. La découverte de leur rôle dans l'activité nerveuse centrale semble en effet l'acquisition la plus considérable de ces quinze dernières années.

I - PRESENTATION NEUROPHYSIOLOGIQUE DES FORMATIONS RETICULAIRES DU TRONC CEREBRAL

La substance réticulée fut pratiquement ignorée des physiologistes jusqu'au milieu de ce siècle. Individualisée par LENHOSSEK en 1855 et DEITERS en 1865, elle ne fut décrite histologiquement qu'en 1911 par CAJAL. Structure complexe faite de cellules et de fibres enchevêtrées, étalée du bulbe à l'hypothalamus postérieur au milieu des noyaux crâniens, il ne lui fut attribué pendant longtemps qu'une simple fonction de soutien.

L'histoire physiologique de la réticulée commence avec la découverte de l'influence qu'elle exerce sur les centres bulbaires de régulation respiratoire et vasomotrice. Puis de nombreux physiologistes soupçonnent sa participation dans les mécanismes de la veille et du sommeil : BREMER en 1936 comparait les effets de transections bulbaire ou mésencephalique sur l'électrocorticographe ; JASPER en 1948 et WARD en 1949 observaient une activation corticale généralisée par stimulation de la région centrale du tronc cérébral et de l'hypothalamus postérieur. Mais ce sont MAGOUN et MORUZZI, en 1949, qui par stimulation élective de la formation réticulaire devaient mettre en lumière le rôle physiologique essentiel de cette structure dans la production de l'éveil cortical.

A - DONNEES ANATOMIQUES ET HISTOLOGIQUES

1. - Eléments architectoniques

Longtemps considérée comme un amas cellulaire indifférencié, la substance réticulée apparaît actuellement comme un ensemble architectural très organisé. On lui distingue deux parties principales : une médiane composée de très nombreux neurones de grande taille, parfois même de cellules géantes, l'autre latérale composée de cellules de taille petite ou moyenne.

OLSZEWSKI, BRODAL, NAUTA et les SCHEIBEL ont beaucoup contribué à l'individualisation architecturale de la substance réticulée. OLSZEWSKI (1954) a pu décrire plus de 40 noyaux et sous-noyaux dans la substance réticulée du tronc cérébral (Fig. I.1).

Mais l'acquisition la plus impressionnante de ces recherches histologiques est relative à la complexité des relations intercellulaires existant dans ces structures. Deux aperçus complémentaires de ces relations sont saisis l'un à l'échelle du neurone par la microhistologie, l'autre à l'échelle des ensembles neuroniques par une approche statistique des problèmes d'organisation cellulaire. L'un et l'autre soulignent l'extraordinaire richesse de connexion des neurones réticulaires.

Ainsi considérons une cellule géante des noyaux magnocellulaires. Une telle cellule possède une bifurcation de l'axone assurant une double efférence rostrale et caudale : vers la moelle, le cortex par le thalamus mais aussi vers l'hypothalamus, le cervelet et plusieurs noyaux des nerfs crâniens (Fig. I.2).

Fig. I_1

a : groupe accessoire du noyau réticulaire paramédian
B : noyau vestibulaire supérieur de Betcherew
Br.c : brachium conjonctivum
Br.p : brachium pontis
c.i : "Colliculus" inférieur
c.r : corps restiforme
D : noyau vestibulaire latéral de Deiters
d : groupe dorsal du noyau réticulaire paramédian
h : groupe cellullaire "h" de Meessen et Olszewski
k : groupe cellulaire "k" de Meessen et Olszewski
L.N. : locus Niger
M : réticulée mésencéphalique
m : groupe cellulaire "m" de Meessen et Olszewski
N.C. : noyau cochléaire
N.I.P. : noyau interpédoncularis
N.I.L. : noyau du lemniscus latéral
N.m.X : noyau moteur dorsal du vague
N.R. : noyau rouge
N.r.l : noyau réticulaire latéral
N.r.t : noyau réticulaire "tegmenti-pontis" de Betcherew
N.S. : noyau solitaire
OL.i : olive inférieure
OL.s : olive supérieure
P : réticulée pontine
P.c. : pied des pédoncules cérébraux
Py : voie pyramidale
Ra : noyau du Raphémédian
R. gc : noyau réticulaire gigantocellulaire de Meessen et Olszewski
R.l : noyau réticulaire latéral de Meessen et Olszewski
R.p.c : noyau réticulaire "pontis caudalis" de Meessen et Olszewski
R.pc : noyau réticulaire parvocellulaire de Meessen et Olszewski
R.p.o : noyau réticulaire "pontis oralis" de Meessen et Olszewski
R.v. : noyau réticulaire "ventralis" de Meessen et Olszewski

r.III, V, VI, VII, VIII, X, XII : Racines de nerfs crâniens

S.c : noyau "subcoeruleus"
S.g.p : substance grise périacqueducale
Tr. : corps trapézoïde
v. : groupe ventral du noyau réticulaire paramédian

III, IV, V, VI, VII, X, XII : noyaux moteurs des nerfs crâniens.

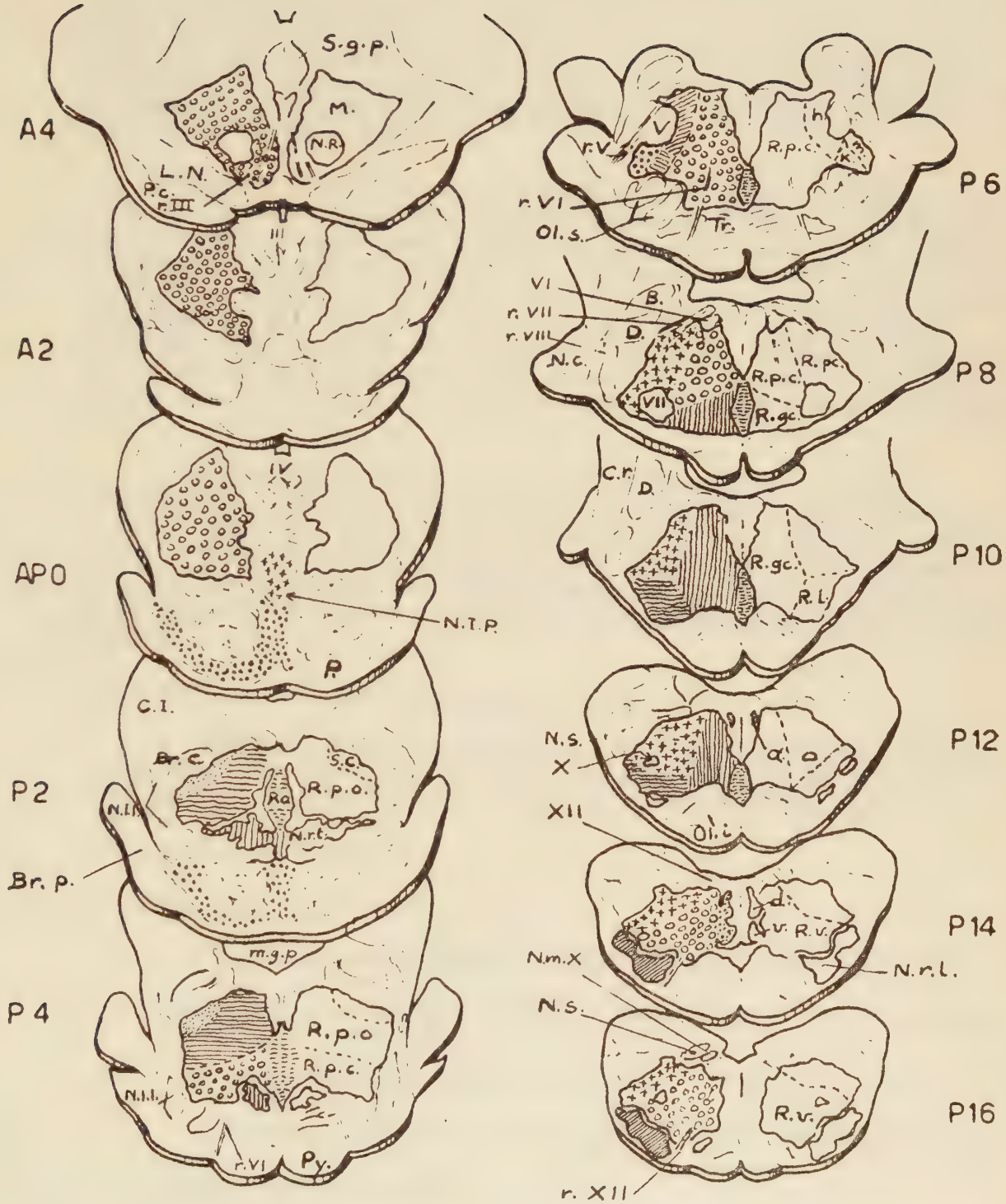


*Fig. I. 1. **Division** cyto architectoniques de la formation réticulaire (sections du tronc cérébral du chat) d'après Rossi et Zanchetti*

Les afférences sont aussi d'une très grande diversité. En partant des boutons synaptiques en connexion avec une même cellule réticulaire on a pu distinguer des fibres somesthésiques et sensorielles de toute nature. Cette diversité est également retrouvée par les techniques microphysiologiques, puisqu'un même neurone peut être activé ou inhibé par des stimulations aussi différentes que la percussion d'un tendon et une stimulation corticale ou cérebelleuse (Fig. I.15).

L'approche statistique n'est pas moins surprenante. La densité cellulaire de la substance réticulée serait maximum au niveau des noyaux gigantocellulaires et des calculs établissent selon une approximation sans doute assez grossière, qu'une seule de ces cellules occupe un volume où son activité est susceptible d'influencer par les dendrites : 4,125 autres éléments cellulaires ; par les axônes bifurqués : 27.500 cellules (SCHEIBEL et SCHEIBEL). Quel que soit leur degré d'exactitude ces chiffres permettent de donner une idée de la complexité des structures réticulaires et des possibilités extraordinaires d'intégration que cette complexité laisse supposer.

L'organisation intime de la substance réticulée se trouve aussi reconsidérée. L'hypothèse d'axônes courts disposés en chaînes polysynaptiques est abandonnée par certains auteurs. La pensée des SCHEIBEL s'oriente plutôt vers un système de neurones longs à collatérales très nombreuses assurant des connexions latérales multiples à des niveaux très variés du tronc cérébral et avec des cellules situées parfois à des distances considérables.

2. - Les connexions des formations réticulaires

De très nombreux travaux suscités par les découvertes physiologiques se sont attachés à préciser les connexions des formations réticulaires. Nous n'en présenterons qu'un tableau schématique de classification :

a) Connexions efférentes

Fibres réticulo-spinales

Il existe deux contingents réticulofuges à direction caudale :

- des fibres partant de la réticulée pontique et formant le faisceau ventral de la moelle.
- des fibres bulbaires formant le faisceau latéral de la moelle.

Toutes ces fibres ne dépassent pas le niveau dorsal de la moelle.

Fibres ascendantes longues

Ces fibres prendraient toutes naissance dans les 2/3 médians de la réticulée et formeraient deux faisceaux principaux :

Fig. I.2. Ramifications axonales d'une cellule réticulaire géante

d'après Scheibel et Scheibel

- un faisceau dorsal montant vers :

  - la matière grise périacqueducale
  - les tubercules quadrijumeaux postérieurs
  - le thalamus
  - le sous-thalamus

    . Corps de Luys
    . Locus Niger
    . Zona Incerta
    . Champ de Forel

- un faisceau latéral qui monte le long du noyau du trijumeau et rejoint le faisceau dorsal.

Fibres réticulo-cérebelleuses

Les fibres partent de trois noyaux réticulaires :

Noyau latéral
Noyau paramédian
Noyau togmenti-pontis

Les efférences de ces noyaux sont presque exclusivement cérébellipètes.

Les fibres sont généralement croisées, leurs projections se superposant souvent sur le cervelet.

Tout le cervelet est ainsi afférenté et la somatotopie est parfois retrouvée de la moelle au cervelet - et donc au niveau réticulaire - il en serait ainsi pour le noyau réticulaire latéral (BRODAL).

Ces noyaux réticulaires apparaissent ainsi des relais essentiels entre la moelle et le cervelet.

Efférences réticulaires vers d'autres structures du tronc cérébral.

Il semble que des efférences existent vers l'ensemble des noyaux des nerfs crâniens. Les SCHEIBEL ont montré qu'une même cellule réticulaire peut faire synapse à la fois avec des noyaux crâniens sensitifs et moteurs.

Efférences diverses

Les éléments réticulaires supérieurs se projettent à l'hypothalamus, aux aires préoptiques, au noyau médian du septum par le système de la bandelette longitudinale supérieure.

Ils envoient des projections directes aux noyaux caudés et lenticulaires. Leurs relations avec le système limbique sont également très étroites.

b) Connexions afférentes

Fibres spino-réticulaires

Elles constituent un contingent abondant dont la terminaison est très diffuse au niveau de la réticulée bulbaire et pontique, mais il faut signaler des terminaisons aux noyaux magnocellulaires qui possèdent des efférences à la fois caudale et rostrale, et aux noyaux d'efférences cérébellipètes.

Toutes ces afférences étaient présentées jusqu'ici comme des collatérales des voies spécifiques. Il est possible que des afférences directes existent également.

Fibres cortico-réticulaire

Des fibres descendent d'aires corticales très nombreuses mais surtout à partir des aires sensorielles et motrices. La terminaison se fait sur toute la longueur de la réticulée mais surtout dans les noyaux où s'opèrent les départs vers la moelle, le cervelet et les centres supérieurs (ROSSI et BRODAL 1956).

Fibres sous-cortico réticulaires

Les afférences venant des centres sous-corticaux sont nombreuses mais plus ou moins bien connues car l'étude élective des fibres par destruction est très difficile dans cette zone de passage.

Les connexions existent avec les formations striaires (WOODBURNE, CROSBY et Mc COTTER), avec l'hypothalamus (CAJAL) (CROSBY et WOODBURNE). Les formations striaires se projetteraient sur la réticulée au niveau du noyau rouge en particulier.

Les thalamus et l'hypothalamus se projetteraient sur la partie la plus antérieure de la réticulée, au point de départ des fibres ascendantes longues - qu'on sait par ailleurs se diriger vers le diencéphale et les noyaux de la base.

Les corps mamillaires se projetteraient au niveau du noyau réticulaire Tegmentum pontis dont les efférences sont essentiellement cérébellipètes.

(Ces correspondances suggèrent des circuits physiologiques
) bien particuliers.

Fibres cérébello-réticulaires

Les afférences ne sont pas directes mais se font par l'intermédiaire des noyaux intracérébelleux :

- noyaux du toit
- noyau dentelé
- noyau interpositus

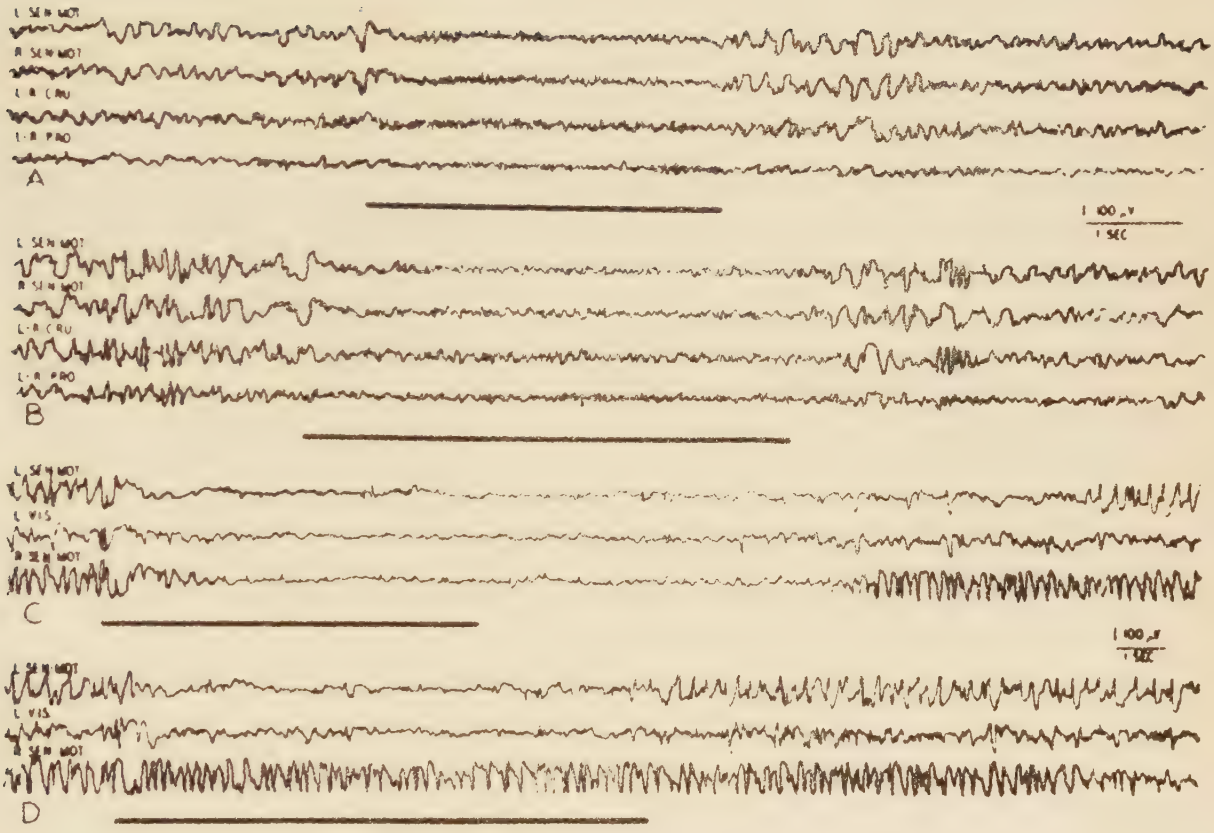


Fig. I.3. Effet activateur de stimulations réticulaires sur l'activité EEG spontanée.

A et B : encéphale isolé et chloralosé de chat

C et D : chat intact : C = 3V, 300/sec ; D = 3V, 100/sec.

d'après MAGOUN et MORUZZI

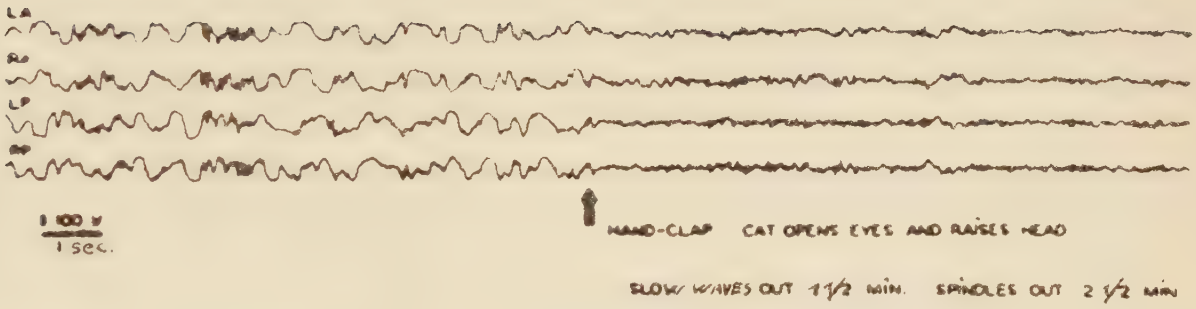


Fig. I.4. Tracé d'éveil obtenu, sur un chat normalement endormi, par stimulation auditive (claquement de mains)

d'après Lindsley, Schreiner, Knowles et Magoun

Ces fibres se terminent dans les noyaux médians de la réticulée bulbopontine en particulier aux noyaux paramédian et tegmenti-pontis dont les efférences se font vers le cervelet et dans le noyau rouge et le thalamus.

Afférences de structures du tronc cérébral

Les afférences tecto-réticulaires se font surtout à partir des tubercules quadrijumeaux postérieurs et se projettent de façon diffuse à la réticulée bulbaire, pontique, mésencéphalique et, en particulier, au point de départ des fibres réticulofuges descendantes, longues ascendantes aussi bien qu'au point d'arrivée des fibres spino et corticofuges.

De nombreuses fibres viennent des noyaux des nerfs crâniens et en particulier du noyau sensitif du trijumeau et du noyau vestibulaire.

3. - Conclusions

Il existe des correspondances anatomiques entre les régions réticulaires servant de point de départ ou d'arrivée aux connexions extra-réticulaires. Ces correspondances suggèrent directement des possibilités de circuits fonctionnels et l'électrophysiologie en a généralement établi l'existence. Les auteurs de ces recherches anatomiques, BRODAL, ROSSI et ZANCHETTI en particulier, ont ainsi systématisé ces correspondances.

- Les fibres corticofuges sont principalement connectées avec des régions réticulaires situées dans la partie caudale du tronc cérébral et qui se projettent vers la moelle.

- Les fibres spinoréticulaires atteignent essentiellement ces mêmes régions de la réticulée qui donnent aussi naissance aux fibres ascendantes vers les centres cérébraux supérieurs (thalamus et sous-thalamus).

- Les fibres venant des centres de la base du cerveau, de l'hypothalamus et de l'épithalamus se terminent dans des structures réticulaires antérieures qui en retour se projettent vers l'hypothalamus et les centres de la base.

Nous empruntons la conclusion de ce paragraphe à BRODAL : la formation réticulaire "n'est pas d'organisation diffuse et homogène mais est subdivisée en plusieurs régions qui diffèrent par leur cyto-arthitectonie, leurs connexions et leur organisation intrinsèque. Ces régions ne sauraient d'autre part, être regardées comme indépendantes les unes des autres, puisque leurs connexions prouvent d'amples possibilités d'interaction et de collaboration mutuelles".

B - DONNEES PHYSIOLOGIQUES

1 - Effets facilitateurs

En 1949 MORUZZI et MAGOUN attirent l'attention des physiologistes en obtenant par stimulations répétitives des formations réticulaires du tronc cérébral, toutes les modifications électriques corticales caractéristiques du passage de l'état de sommeil à l'état vigile (Fig. I.3). Cet éveil cortical est obtenu par stimulation électrique d'un point quelconque des formations réticulaires mais aussi par un stimulus périphérique quelconque somesthesique ou sensoriel (Fig. I.4)

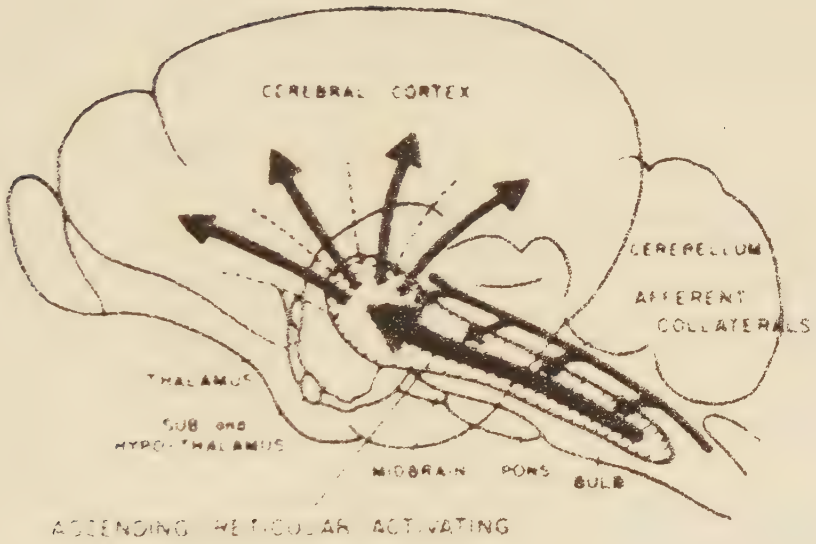


FIG. I. E. — *Schéma de Magoun montrant sur une coupe sagittale du cerveau de chat la situation du système réticulaire activateur ascendant, ses projections diffuses vers toute la surface corticale et sa mise en jeu par les voies afférentes extralemniscales.*

Par contre, si chez un animal on supprime la partie antérieure de cette formation, le cortex se trouve plongé dans un état de sommeil irréversible et ceci bien que par ailleurs les messages périphériques atteignent les aires de projections corticales spécifiques.

Il est donc décrit un système dit "activateur ascendant" assurant l'éveil cortical à partir des messages périphériques (Fig. I.5). L'éveil est diffus, un seul message, auditif par exemple, entraînant l'activation de tout le cortex.

En 1946 RHINES et MAGOUN avaient déjà montré que la stimulation de ces mêmes formations réticulaires exerce une action facilitatrice sur la motricité spinale et décrivaient un système "facilitateur descendant".

Aussi dès 1950 MAGOUN admit que l'ensemble de ces deux systèmes facilitateurs ascendant et descendant constituait un seul système dynamogénique réglant simultanément les niveaux d'activité de la sphère corticale et de la sphère motrice, c'est-à-dire le niveau global d'activité de l'organisme.

2. - Effets inhibiteurs

MAGOUN et RHINES ont mis en évidence des territoires réticulaires dont la stimulation provoque une inhibition motrice. Cette inhibition se manifeste sur les mouvements spontanés, sur les réflexes tendineux mais aussi sur les mouvements provoqués par stimulation de la zone motrice corticale ou encore par stimulation de la capsule interne (Fig. I.6).

Ces aires réticulaires inhibitrices couvrent la part ventro-médiale de la réticulée bulbaire.

Les structures réticulaires ainsi différenciées en fonctions facilitatrices et inhibitrices peuvent sembler capables d'assurer le contrôle de l'activité nerveuse. Elles apparaissent en quelque sorte comme le centre d'intégration suprême. Dans ces conceptions le cortex ne joue qu'un rôle passif assez paradoxal ; les recherches des années suivantes vont le réhabiliter.

3. - L'influence corticale

Depuis 1950 les neurophysiologistes ont pu montrer qu'il était possible d'obtenir des réponses électriques réticulaires à des stimulations exercées à la surface du cortex. Les effets produits sont encore de deux types : facilitateur et inhibiteur, et peuvent être observés au niveau de la réticulée elle-même ou indirectement à la périphérie et au cortex. Ainsi l'activité réticulaire peut être inhibée par une stimulation corticale (Fig. I.7). De même, une stimulation corticale localisée peut produire une activation corticale généralisée : BREMER et TERZUOLO sur le chat en 1953-54, SECUNDO, NAQUET et BUSER sur le singe en 1955. Ces derniers auteurs ont pu dresser la topographie des aires corticales dont la stimulation électrique produit l'éveil EEG (Fig. I.8).

A et B : a : Fléchisseur ; b : patellaire ; c : refl. de clignement ; d : stim. bulbaire.

C : a : Flexion de la patte ant. ; b : Flex. de la patte post. provoquée par stim. du cortex moteur ; c : stim. bulbaire

D : a : Flex. de la patte post. provoquée par stim. de la capsule interne (c) ; b : stim. bulbaire.

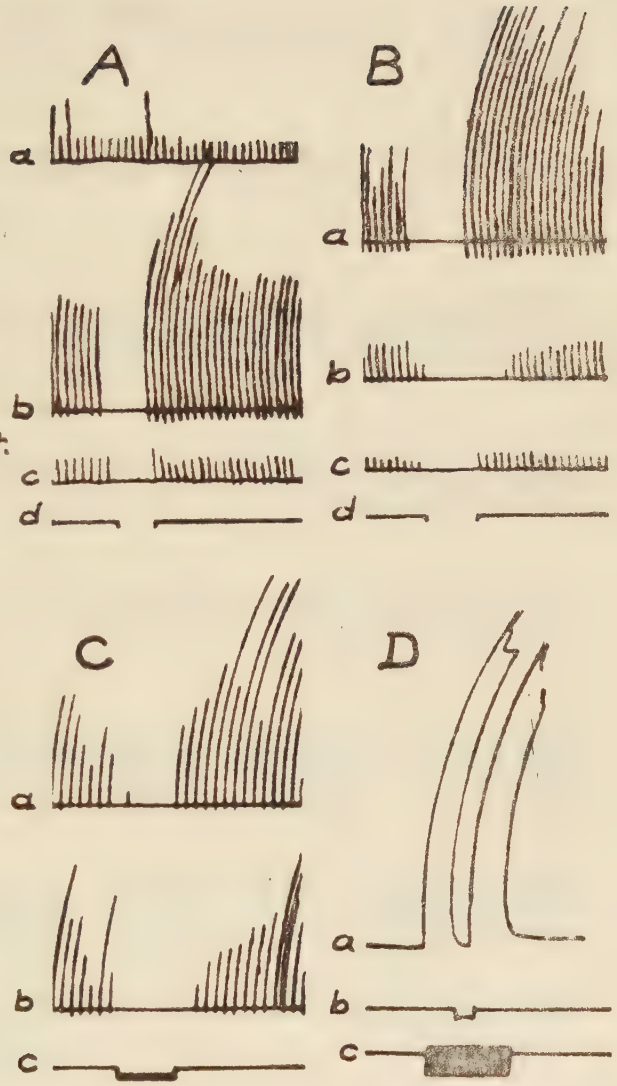


Fig. I.6. Effets inhibiteurs des stimulation réticulaires bulbaires sur l'activité motrice reflexe (A et B) ou induite par stimulation corticale (C et D)
Chat sous chloralose : enregistrements kymographiques
d'après Rhines et Magoun

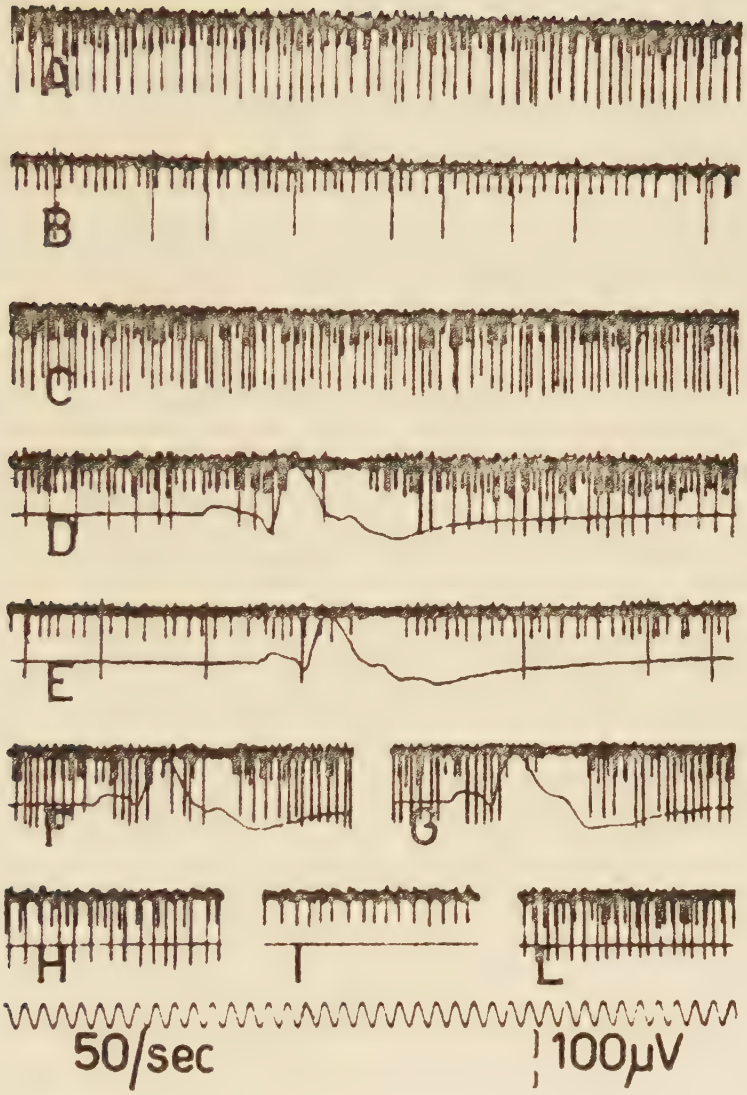


Fig. I. 7. Inhibition des décharges d'une unité réticulaire par stimulations cérébelleuse et corticale d'après Baumgarten, Mollica et Moruzzi

Fig. I.7 - "Encéphale isolé" de chat

A - Décharges spontanées de deux unités réticulaires (deux amplitudes de "spikes" différentes)

B - La polarisation du lobe antérieur du cervelet (0,5 mA) ralentit la fréquence de décharge des deux cellules mais la cellule produisant les décharges de plus grande amplitude est plus affectée par la stimulation.

C - L'arrêt de la stimulation cérébelleuse entraîne une recrudescence d'activité.

D - Entre C et D le cortex moteur est strychnisé ; le tracé horizontal ajouté à partir de D représente l'enregistrement de l'activité de cette aire corticale. Les deux types de décharges réticulaires sont inhibés dès l'apparition des ondes de strychnisation corticale - De nouveau les décharges de plus grande amplitude sont les plus affectées.

E - Les ondes de strychnisation surviennent alors que les décharges réticulaires sont déjà partiellement inhibées par la polarisation cérébelleuse. La composante corticale de l'inhibition est nettement visible.

F.G - Immédiatement (F) et quelques minutes (G) après la fin de la polarisation cérébelleuse, pendant la période de recrudescence d'activité, l'inhibition cortivale est moins marquée.

H - Entre G et H le cortex moteur strychnisé a été détruit. Les effets inhibiteurs de la strychnisation sont abolis et l'activité réticulaire spontanée n'est pas modifiée.

I - L'inhibition est encore obtenue pour la même intensité de polarisation cérébelleuse.

L - Recrudescence d'activité consécutive à la fin de la stimulation cérébelleuse.

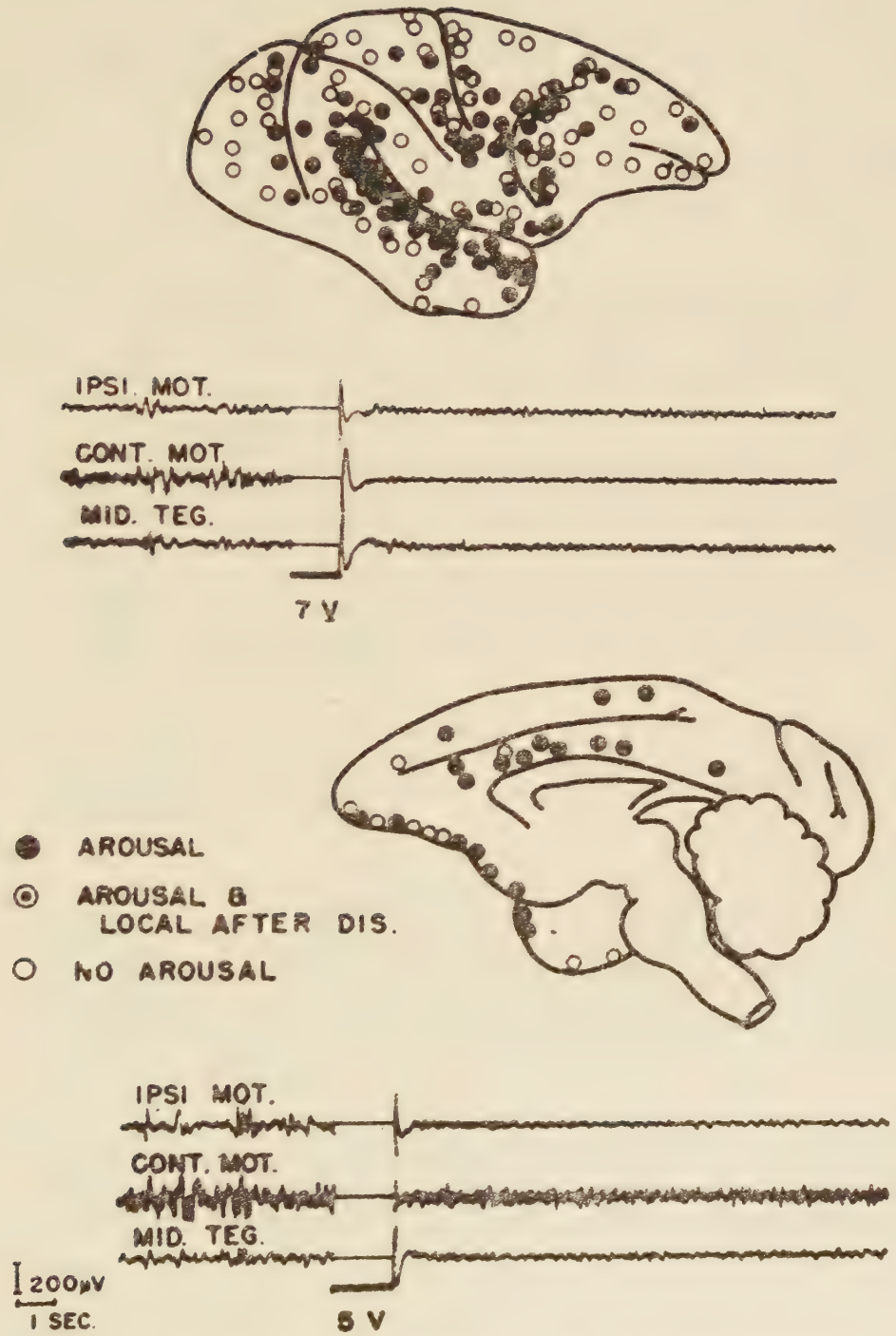


FIG. I.8. — *Diagrammes de la surface externe et de la surface médiane du cortex de singe, sur lesquels sont indiqués* (cercles blancs) *les points dont la stimulation électrique provoque un éveil cortical généralisé* (d'après SEGUNDO, NAQUET et BUSER, 1955).

Plus récemment DELL, BONVALLET et HUGELIN ont pu établir un schéma de relations cortico-réticulaires qui restitue au cortex une fonction de contrôle active. Ces auteurs étudient les effets de stimulations réticulaires sur le cortex et sur la motricité. Leur préparation est un encéphale isolé et l'activité périphérique est testée sur le réflexe massétérin. Dans un de leurs protocoles expérimentaux ils comparent des stimulations brutales et progressives (Fig. I.9 et I.10).

La stimulation brutale provoque une brève facilitation, simultanée au niveau du cortex et de la périphérie, suivie d'une inhibition totale à la périphérie, partielle pour le cortex (Fig. I.11).

En stimulation progressive l'inhibition se produit avant même que la facilitation se manifeste. Le corticogramme s'accélère pourtant, atteignant les fréquences obtenues dans le premier cas (stimulation brutale) après le développement de l'inhibition consécutive (Fig. I.11).

L'inhibition du tonus cortical n'est donc pas aussi complète que celle du motoneurone. L'amplification considérable due au recrutement massif d'interneurones corticaux peut rendre compte de cette différence. Les neurophysiologistes ont aussi trouvé une explication dans la lenteur des propagations dendritiques au niveau du cortex : la propagation y serait lente et décrémentielle. De même à ce niveau, des afférences axodendritiques (des voies non spécifiques vers les voies spécifiques) font naître des potentiels dendritiques locaux qui contribuent à entretenir le tonus cortical (DELL).

Pour illustrer cette inhibition secondaire consécutive à la facilitation d'origine réticulaire, l'image en miroir des effets périphériques et centraux provoqués par l'hyperventilation est également très suggestive (Fig. I.12).

Il est prouvé par ailleurs que c'est bien le cortex qui est responsable de l'inhibition secondaire. Le refroidissement du cortex supprime la phase d'inhibition lors de stimulations réticulaires. Le retour de la température à la normale fait réapparaître les deux phases classiques. L'ablation corticale produit le même effet que le refroidissement. Ablation et refroidissement doivent être étendus à la totalité du cortex pour être efficaces.

A la lumière de ces données physiologiques la régulation de l'activité du système nerveux central apparaît ainsi comme un ensemble de relations réticulocorticales en système bouclé réticulo-cortico-réticulaire où le cortex constitue le régulateur de l'activité réticulaire (Fig. I.13).

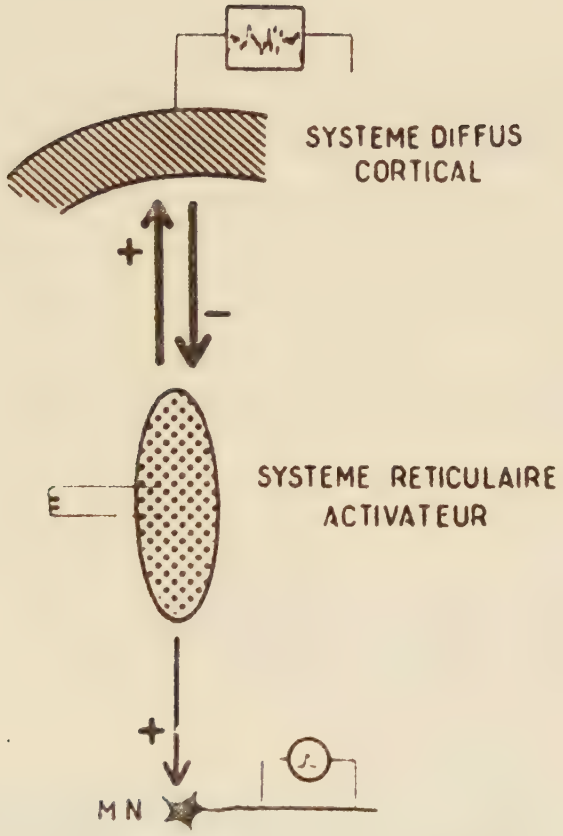


FIG. 19 — *Schéma de l'expérimentation ayant permis l'étude comparée des effets corticaux et moteurs d'une même stimulation réticulaire* (MN : motoneurone).

d'après Bonvallet et Hugelin

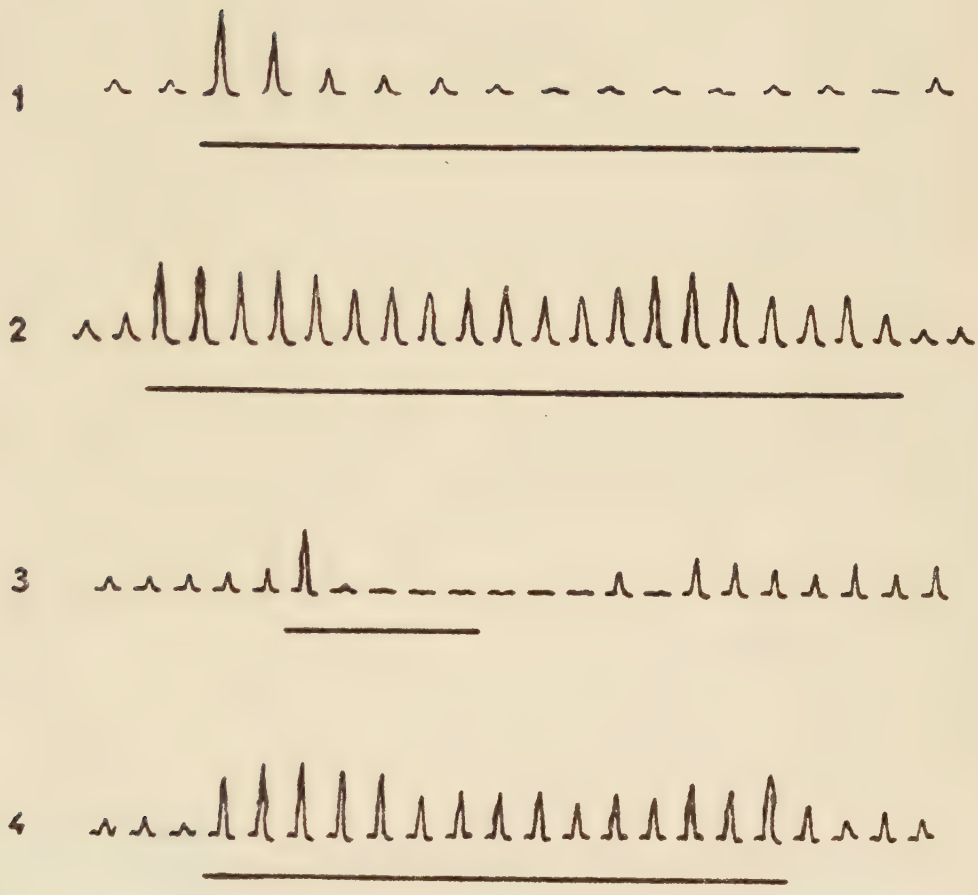


FIG. I.10.

1. Effet d'une stimulation réticulaire (indiquée par le trait horizontal) sur l'amplitude du réflexe massétérin évoqué toutes les secondes, chez l'encéphale isolé du chat curarisé. La facilitation très brève est suivie d'une inhibition.

2. Chez une préparation dont le cortex est déconnecté de la formation réticulaire par une section diencéphalique du tronc cérébral, la même stimulation entraîne une facilitation prolongée.

3. Même effet facilitation-inhibition d'une stimulation réticulaire que dans le tracé 1, sur un autre encéphale isolé.

4. Disparition de la phase d'inhibition après injection de la choralose à la même préparation.

d'après Bonvallet et Hugelin

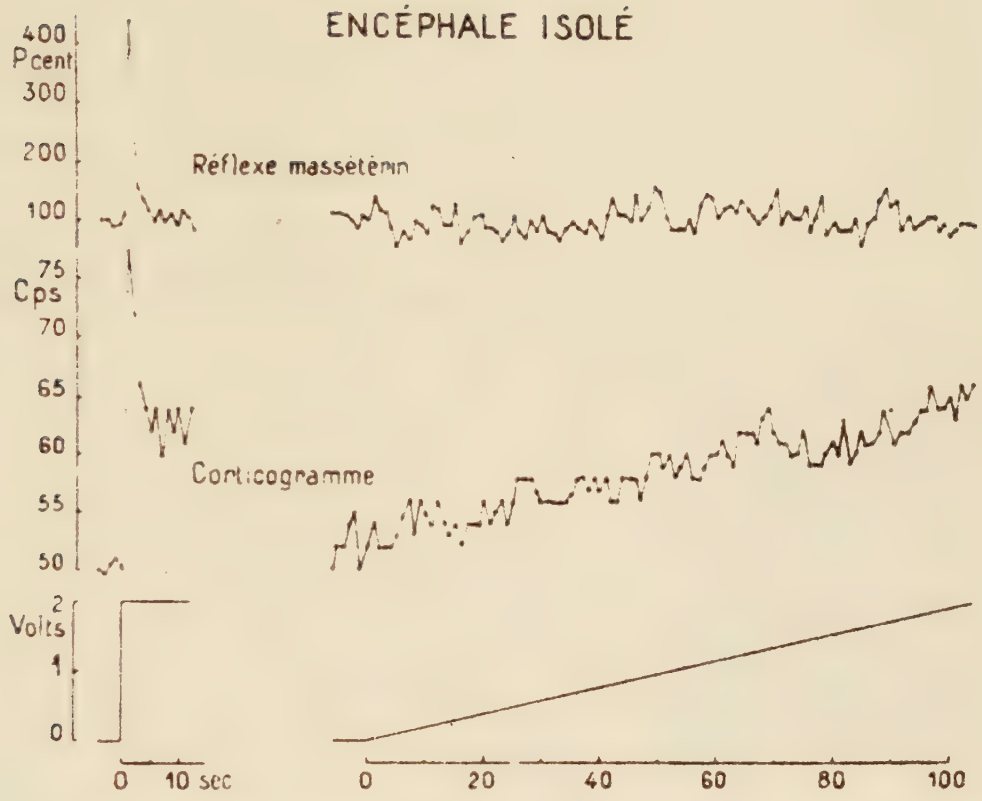


FIG. I.11. — *Effets comparés d'une stimulation à début brusque* (à gauche) *et d'une stimulation appliquée sous un voltage progressif* (à droite), *sur les fréquences du corticogramme et sur l'amplitude du réflexe massétérin, chez l'encéphale isolé.*

La stimulation à début brusque (mode d'établissement indiqué en bas) entraîne simultanément une facilitation motrice et une augmentation importante de la fréquence des ondes corticales, puis simultanément l'amplitude du réflexe redevient normale et les fréquences corticales se ralentissent et se fixent en plateau pendant la suite de la stimulation.

La stimulation établie progressivement n'entraîne aucune modification de la réponse motrice et seulement une accélération très progressive, sans aucun à coup, de la fréquence des ondes corticales.

d'après Bonvallet et Hugelin

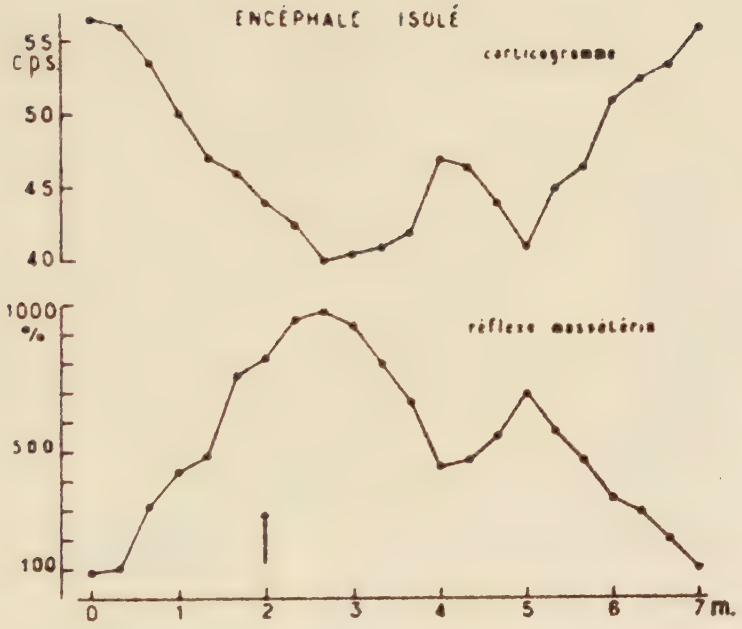


FIG. I.12. - *Diagramme illustrant les variations comparées de la fréquence des ondes rapides du corticogramme et de l'amplitude du réflexe massétérin, pendant et après une hyperventilation débutant au temps 0 et arrêtée après 2 minutes.*

Les deux types d'activité évoluent de façon rigoureusement synchrone, mais en sens inverse, pendant l'installation de l'hypocapnie et toute la période de récupération.

d'après Bonvallet et Hugelin

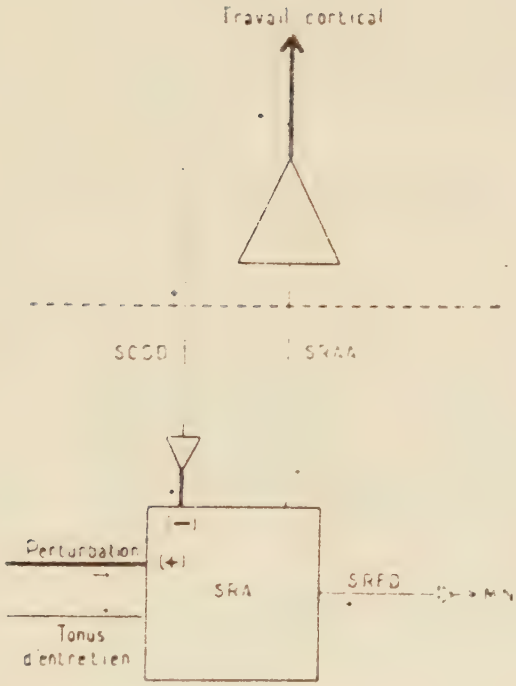


FIG. 1.13. — *Schéma illustrant l'hypothèse d'un circuit d'asservissement réticulo-cortical.*

La ligne pointillée indique l'arrivée des influx dans le cortex. Les triangles symbolisent l'importance du gain des amplificateurs et l'épaisseur des traits l'intensité des messages dans les différentes branches du circuit. SRA : système réticulaire activateur; SRAA : système réticulaire activateur ascendant; SCDD : système cortical désactivateur descendant; SRFD : système réticulaire facilitateur descendant.

d'après Bonvallet et Hugelin

II - LA REGULATION DE LA VIGILANCE

A - PARTICIPATION RETICULAIRE

L'ensemble de ces données anatomiques et physiologiques, le nombre des corrélations satisfaisantes existant entre elles, permettent d'établir un tableau cohérent de la participation des formations réticulaires du tronc cérébral à la régulation de la vigilance.

1. - Les facteurs nerveux

L'influence des afférences réticulopètes sur le niveau d'activité de la réticulée et par son intermédiaire sur le niveau d'activité cortical est maintenant bien établie. Les afférences les plus diverses extéroceptives, proprioceptives, interoceptives mais aussi corticales, cérébelleuses, peuvent provoquer un éveil cortical généralisé comparable à la stimulation électrique directe de certaines aires réticulaires (Fig. I.4, I.8, I.14).

Et nous avons vu que l'ensemble de ces afférences peut converger sur une même unité réticulaire (Fig. I.15).

2. - Les facteurs humoraux

De nombreux auteurs ont pu enregistrer une activité spontanée des formations réticulaires en absence de toute stimulation, sur des préparations d'encéphale isolé et conclure à l'existence d'activité autonome des cellules réticulaires. Une ambiguité existait pourtant en ce sens que les afférences corticofuges, cérébellifuges, pouvaient suffire à entretenir cette activité réticulaire. C'est à DELL, BONVALLET et HUGELIN que revient le mérite d'avoir éclairé cette question.

Sur des préparations réticulaires isolées, complètement déconnectées du reste du système nerveux, les auteurs ont pu mettre en évidence une activité spontanée qu'ils pensent être entretenue par influence humorale.

De nombreuses substances du "milieu intérieur" sont susceptibles d'intervenir dans la régulation de l'activité réticulaire. BONVALLET, DELL et HIEBEL (1953-54), BONVALLET, DELL et HUGELIN (1954), ont mis en évidence l'action de l'adrénaline sur les structures réticulées du tronc cérébral.

L'injection intra-veineuse d'une faible dose d'adrénaline entraîne une activation électrique du cortex du chat après section prébulbaire (Fig.I.16). L'action de l'adrénaline est bien localisée au niveau du tronc cérébral puisqu'une section mésencéphalique empêche l'activation corticale.

L'adrénaline agirait directement sur la substance réticulée en produisant une activation ; mais elle aurait aussi une action inhibitrice indirecte exercée par l'intermédiaire de la réticulée. Le mécanisme de cette inhibition, purement nerveux, serait lié à l'influence de l'hypertension adrénalinique sur les barorécepteurs sino-carotidiens : BONVALLET, DELL et collaborateurs (1953 et 1954).

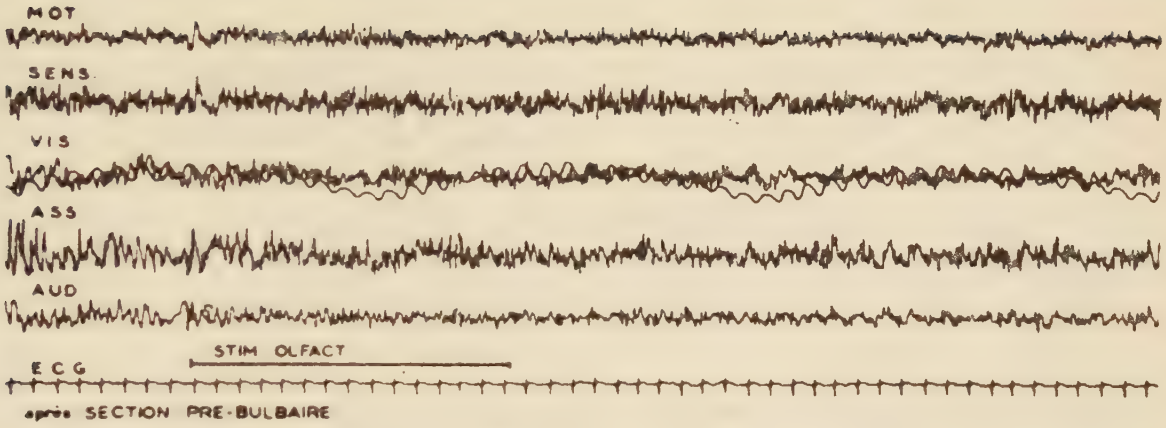


Fig. I. 14. "Arousal" cortical provoqué par une stimulation olfactive sur le "cerveau" isolé du chat

d'après Dell, Bonvallet et Hugelin

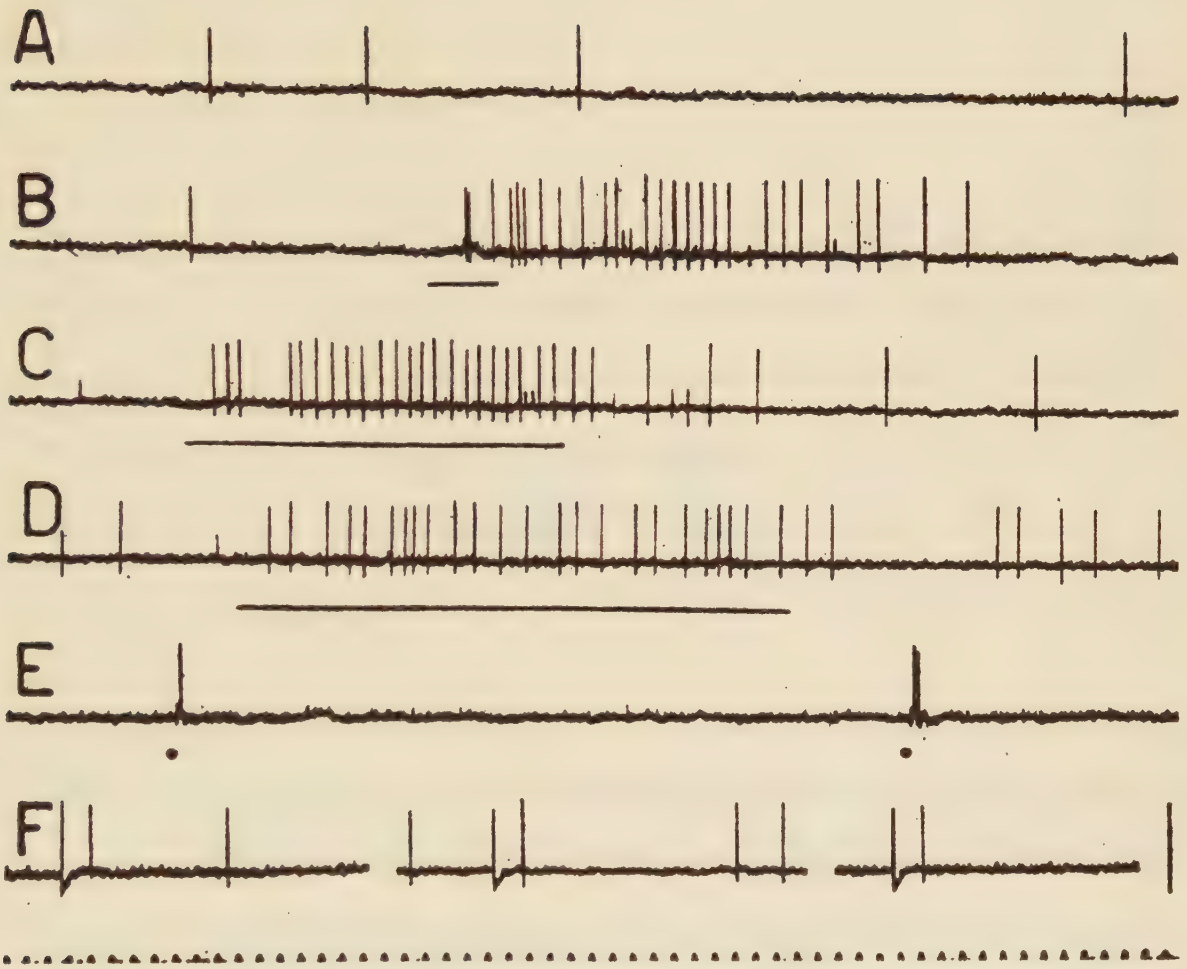


Fig. 15. Convergence de stimuli tactiles, acoustiques et corticaux sur la même cellule de la réticulée pontine.

A : décharges spontanées ; B : coups sur la patte ; C : caresses sur le dos ; D : contact des moustaches ; E : claquement des mains ; F : chocs électriques simples sur le cortex sensorimoteur. – chat sous Flaxedil.

d'après Palestini, Rossi et Zanchetti.

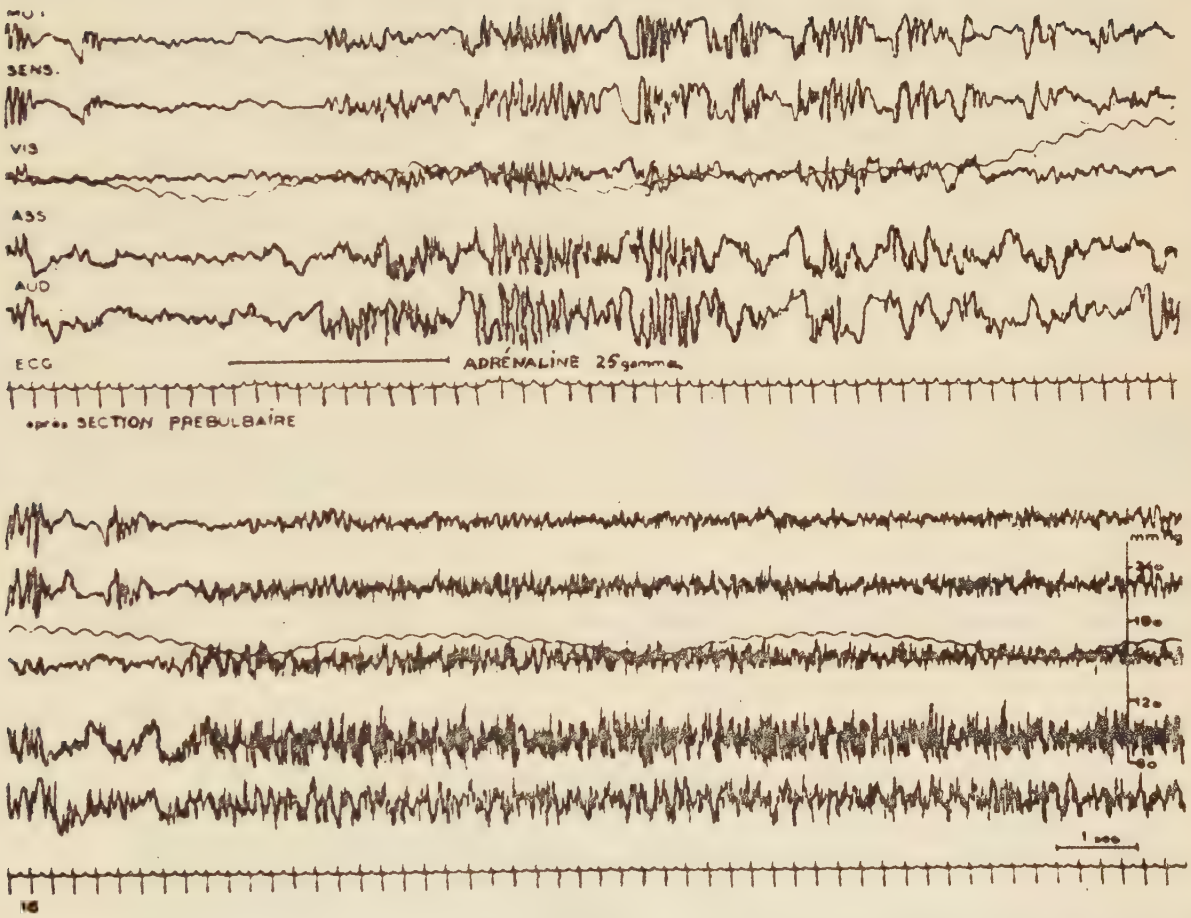


Fig. I.16. "Arousal" cortical provoqué, après une certaine latence, sur le cerveau isolé du chat, par l'injection intra-veineuse d'une faible dose d'adrénaline.

d'après Bonvallet, Dell et Hiebel

L'intérêt de ces découvertes est encore renforcé par la mise en évidence par VOGT, au niveau des différents étages du tronc cérébral, de "sympathine" (adrénaline et surtout noradrénaline) qui serait libérée in situ. La topographie des aires où ces substances sont décelées coïncide de façon satisfaisante avec celle des formations réticulaires.

BONVALLET et DELL (1954) ont également démontré l'influence sur la réticulée des modifications humorales liée à la physiologie respiratoire ; tandis que l'hypoxie est susceptible d'augmenter l'activité réticulaire grâce à des influx nerveux venus des glomi carotidiens, l'ypercapnie exerce sur la formation réticulaire une puissante action activatrice directe. De même le ralentissement de l'activité électrique corticale sous l'influence de l'hyperventilation est liée à une diminution du niveau d'activité réticulaire.

Les effets du milieu intérieur se trouvent résumés sur la figure I.17.

B - ROLE DES AUTRES STRUCTURES CEREBRALES

La participation des formations réticulaires dans la régulation de l'état vigile est actuellement bien établie.

Leur situation centrale dans le névraxe, leur densité neuronale expliquent le rôle essentiel joué par ces structures dans l'intégration et la dynamogénisation du système nerveux central. Mais il ne faudrait pas que ce rôle de premier plan masque la participation des autres structures cérébrales au maintien de la vigilance.

En fait il existe une solidarité fonctionnelle de toutes les structures nerveuses et la richesse des relations intra et extra réticulaires rend bien compte de cette dépendance fonctionnelle.

1. - Participation cérébelleuse

Les connexions réticulo-cérébelleuses ont été particulièrement bien étudiées ; on a pu établir l'existence de circuits cortico-réticulo-cérébelleux. L'électro-physiologie confirme ces données : MORUZZI montrait récemment que des stimulations cérébelleuses inhibent ou facilitent les décharges réticulaires. La figure I.7 représente l'inhibition des décharges,d'une unité réticulaire par stimulation cérébelleuse (BAUMGARTEN, MOLLICA et MORUZZI).

KREINDER et STERIADE établissent que l'ablation du cervelet abaisse le tonus cortical. Le cervelet serait donc une structure importante de l'éveil EEG. C'est encore ce que confirment les résultats électro-physiologiques de PASSOUANT "en faveur d'une activité électrique continue (du cervelet), véritable activité autochtone hautement tonique, modulée par le flot des afférences asynchrones". Une certaine activité électrique persiste après suppression des connexions cérébelleuses : le cervelet pourrait jouer le rôle d'un centre modulateur.

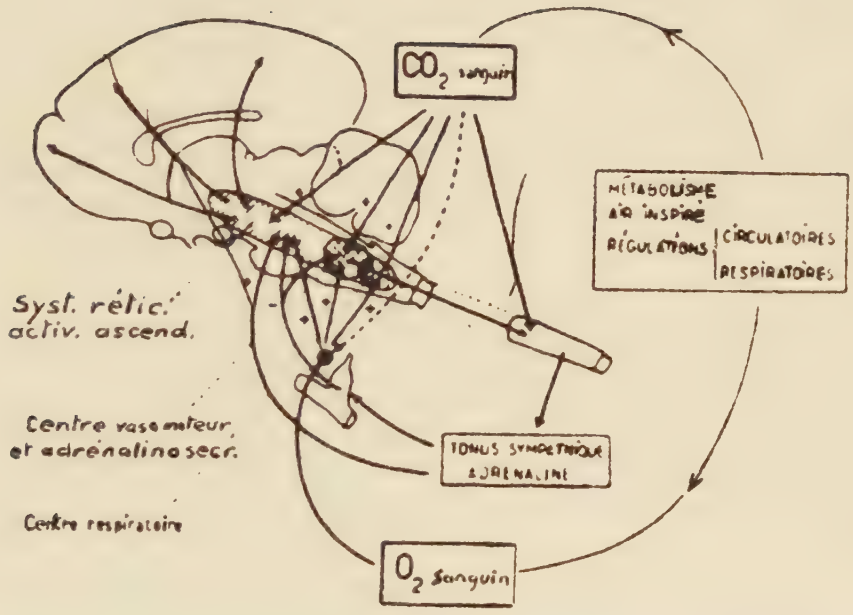
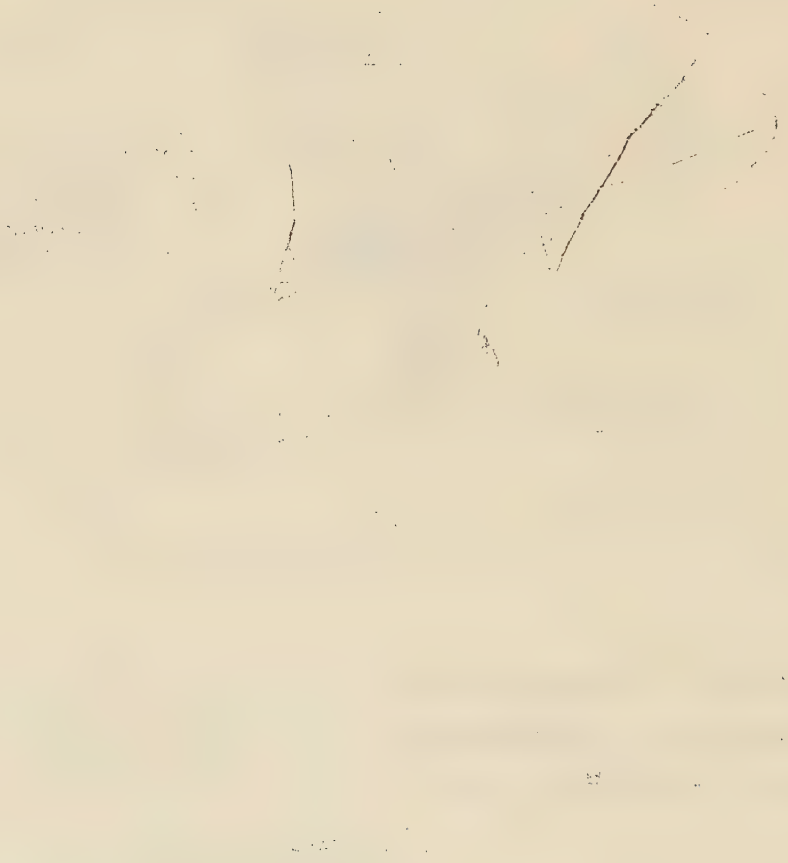


Fig. I.17. Représentation schématique des influences directes et indirectes exercées par le "milieu intérieur" sur le système activateur ascendant

d'après Dell et Bonvallet



2. - Participation rhinencéphalique

Les études électrophysiologiques établissent les connexions de l'hippocampe et de l'amygdale avec la majorité des structures sous-corticales et de nombreuses aires corticales. Les afférences sensorielles les plus diverses produisent l'éveil électrique des structures rhinencéphaliques ; de même l'activité rhinencéphalique entretient l'activité réticulaire et contribue au maintien de la vigilance.

KAADA a pu observer quelquefois un éveil EEG généralisé provoqué par stimulations de certaines aires rhinencéphaliques. FEINDEL et GLOOR ont pu comparer les effets électrophysiologiques corticaux induits par stimulation de l'amygdale et de la formation réticulaire du tronc cérébral. Ils sont identiques (Fig. I.18). Toutefois, ROSSI et ZANCHETTI font remarquer que de forts stimuli sont nécessaires pour provoquer de tels effets.

Les expériences de M. MONNIER montrent que le rhinencéphale déverse des excitations massives dans le thalamus et le système réticulé ce qui suggère la possibilité d'une composante rhinencéphalique dans certaines formes d'épilepsie dites diencéphaliques attribuées au système thélamique intralaminaire.

Il faut insister aussi sur l'importance du rhinencéphale dans la vie affective. La neurochirurgie a éclairé cette participation. Par les lobotomies, les lobectomies, les topectomies, on interrompt les connexions entre le rhinencéphale antérieur et l'hypothalamus dont on connaît l'importance dans les états émotionnels. Les résultats de ces interventions chirurgicales se marquent par une diminution des réactions émotionnelles et en particulier, par une réduction des états d'anxiété, d'angoisse, de fixation affective pathologique.

Pour de nombreux auteurs le rhinencéphale représente donc un centre important de coordination et d'intégration qui participe à l'entretien de l'activation générale du système nerveux central et des comportements affectifs ou émotionnels.

3. - Participation thalamique

Le thalamus reçoit les afférences du système de projection spécifique et réticulaire. C'est donc à la fois, une structure importante de relais vers le cortex spécifique et une structure d'intégration privilégiée du système activateur général.

Le système thalamique diffus nous intéresse plus particulièrement. Il est constitué des noyaux de la ligne médiane, des noyaux intralaminaires et des noyaux réticulaires.

La stimulation électrique de ces noyaux entraîne des modifications de l'activité électrique corticale qui se produisent sur des régions assez vastes et mal déterminées (Fig. I.18). Les connexions thalamo-corticales intéressées se feraient au moins en partie par l'intermédiaire de centres sous-corticaux, corps striés et rhinencéphale en particulier.

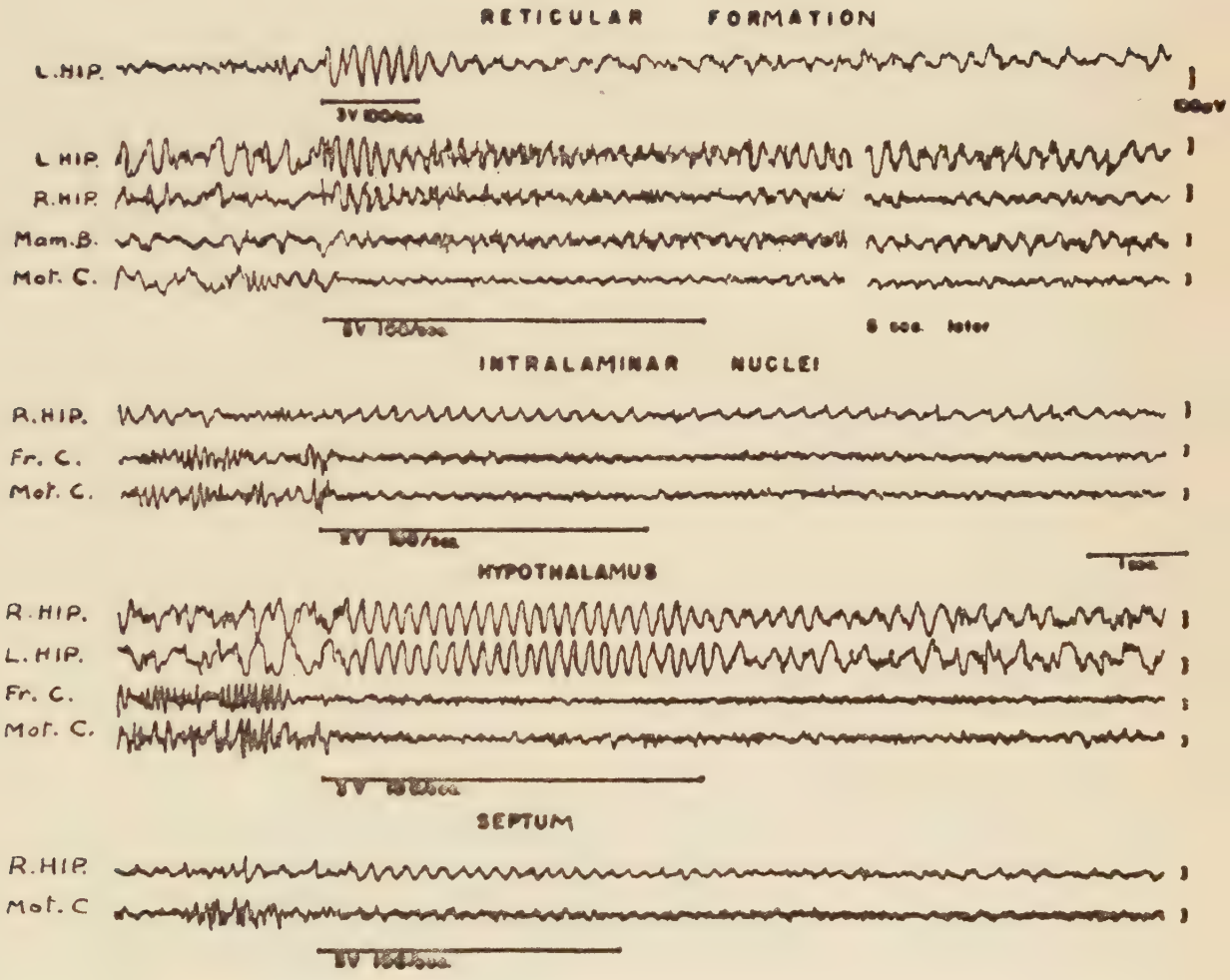


Fig. I.18. Effets de stimulations réticulaire, thalamique, hypothalamique et septale sur l'activité des aires archipalliales et néocorticales

lapin curarisé : L.et R.Hip. : hippocampe gauche et droit ; Mam.B. : corps mammillaire ; Mot. C. : cortex moteur ; Fr.C. : cortex frontal

d'après Green et Arduini

La stimulation a basse fréquence du système thalamique diffus induit la même rythmicité au niveau cortical. Si cette stimulation se prolonge on constate une augmentation progressive de l'amplitude des ondes corticales.

Ce sont les réponses dites de recrutement obtenues par DEMPSEY et MORISON en 1942 sur le cortex du chat. Tout se passe comme si à chaque stimulation thalamique de nouvelles unités nerveuses étaient recrutées au niveau du cortex pour assurer la réponse.

MAGOUN et MORUZZI devaient préciser l'action inhibitrice de la formation réticulée du tronc cérébral sur les réponses recrutantes (Fig. I.19). Cette interférence pose le problème des rapports physiologiques entre ce système thalamique diffus et le système réticulaire du tronc cérébral. De nombreux auteurs soulignent l'inter-relation étroite existant entre ces deux systèmes mais l'unanimité n'est pas encore faite sur l'organisation même de ces rapports.

4. - Participation hypothalamique

L'hypothalamus est aussi un relais pour certains contingents de fibres ascendantes puisqu'on a pu décrire une voie extra-thalamique joignant la réticulée au cortex en traversant la région sous-thalamique, l'hypothalamus et la capsule interne. La stimulation de l'hypothalamus entraîne un éveil cortical (Fig. I.18). Il faut donc inclure cette structure dans le système activateur général.

Le rôle des formations hypothalamiques dans les mécanismes de la veille est d'ailleurs connu depuis longtemps. Les expériences de HESS, de RANSON, de NAUTA ont pu faire conclure à l'existence d'un centre hypnogène situé dans l'hypothalamus antérieur et d'un centre vigile dans l'hypothalamus postérieur. Ces résultats suggèrent donc une possibilité de régulation hypothalamique de l'état de veille.

Mais la fonction de l'hypothalamus serait surtout très particulière par sa participation à la régulation neuro-humorale de la vigilance. L'hypothalamus est considéré comme le premier maillon d'une chaîne nerveuse dont le rôle est d'activer le système sympathique. L'action de ce système sur la médullo-surrénale entraîne l'intervention humorale de l'adrénaline sur l'éveil réticulaire et cortical.

5. - Participation corticale

Il nous faut encore insister sur le rôle du cortex dans les processus d'éveil du système nerveux central. Ainsi BREMER a souligné la possibilité de facilitation de l'éveil par l'activité intra-corticale basée sur le principe de circuits réverbérants. Récemment JUNG, CREUTZFELDT et BAUMGARTEN, étudiant le mode de réaction à l'obscurité et à la lumière de neurones du cortex visuel y distinguent plusieurs types de neurones. Certains qui ne sont pas modifiés par la lumière ou l'obscurité réalisent un système stabilisateur puissant qui maintient le cortex à un niveau d'excitation moyen. Les autres neurones sensibles à la lumière manifestent après stimulation lumineuse une succession de phases d'inhibition et d'excitation.

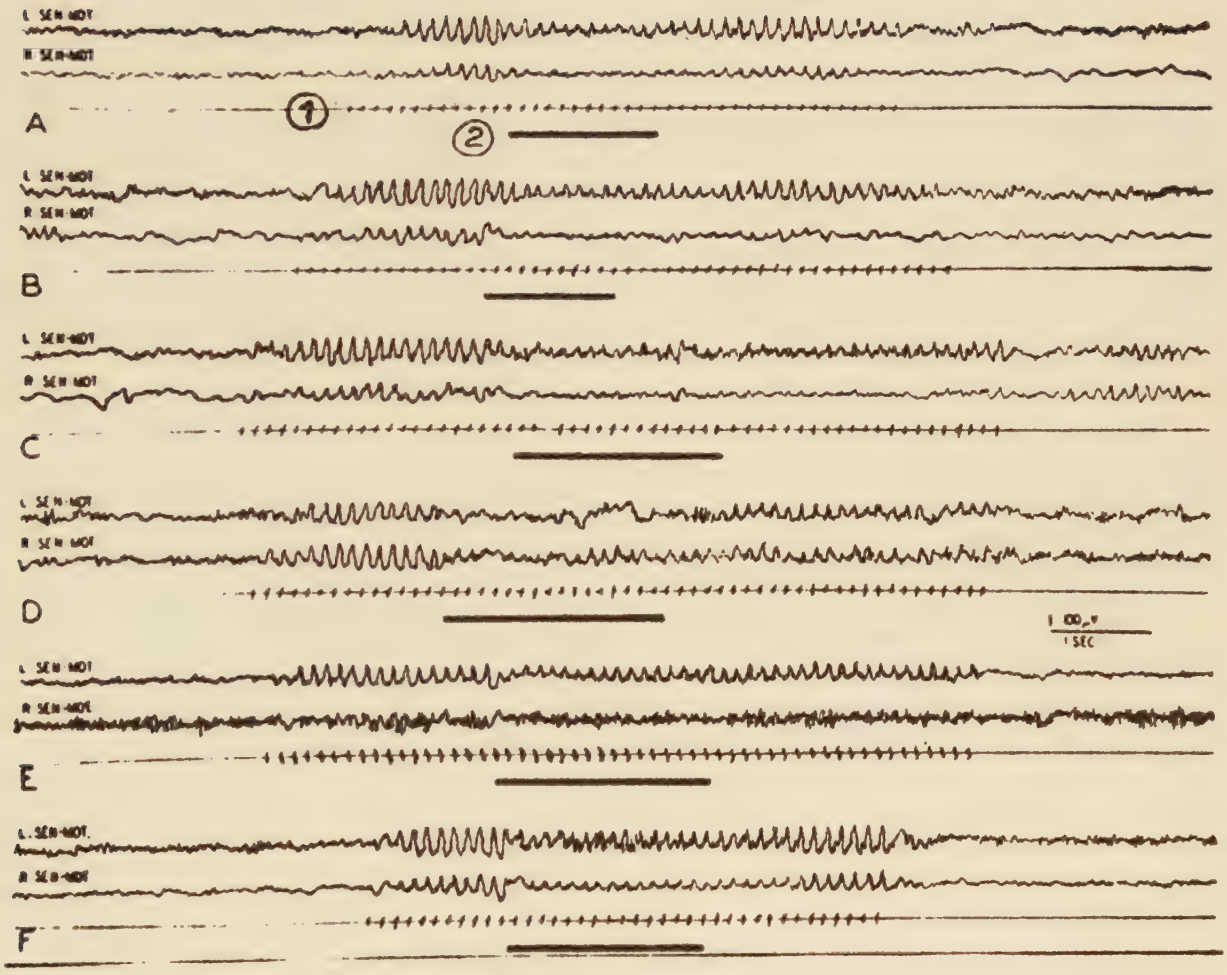


Fig. I.19. Abolition des réponses recrutantes par stimulation sensorielle et réticulaire (encéphale isolé de chat)

① stimulations thalamiques gauche (5 V., 8/sec.)

② A : fort sifflement ; B : souffle d'air sur la tête ; C : frottement du nez ; D : souffle d'air sur les yeux ; E et F : stimulations réticulaires (2 V : 300/sec)

d'après Moruzzi et Magoun

"La régulation de l'activité des neurones du cortex résulte donc d'une interaction étroite entre les rythmes corticaux propres, les afférences spécifiques venues des récepteurs et l'influence des systèmes corticaux non spécifiques".

Pour clore ce chapitre sur le rôle du cortex nous reprendrons la conclusion donnée par BONVALLET à un exposé sur les relations entre l'activité corticale et l'activité réticulaire. Ce qui est vrai de ces relations le demeure aussi sans doute pour les relations du cortex avec d'autres structures sous-corticales.

"... le cortex ne reflète pas passivement le niveau de l'activité réticulaire et son tonus n'est pas uniquement fonction des messages qui parviennent à cette formation. Il est prouvé en effet que l'écorce cérébrale peut intervenir activement dans le processus de son propre réveil et très probablement dans le maintien de l'état vigile ; il apparaît, d'autre part, que le cortex vigile contrôle en permanence l'activité du système réticulaire activateur, évite les à-coups de son fonctionnement et maintient dans d'étroites limites son état d'excitation, ce contrôle étant d'autant plus efficace que le niveau de vigilance est plus élevé".

6. - Conclusions

L'état de vigilance apparaît donc comme le résultat d'une régulation très complexe à laquelle participe la totalité de l'organisme. Le système nerveux central, médiateur commun de toute activité, joue un rôle essentiel. Nous avons vu que la majorité des structures cérébrales interviennent et semble-t-il en étroite corrélation fonctionnelle. Plusieurs d'entre elles paraissent douées d'une activité autochtone (cortex - formations réticulaires - cervelet - rhinencéphale) entretenues par des facteurs multiples. Ces facteurs proviennent du milieu extérieur et intérieur et agissent par des voies nerveuses et hormonales.

III - DONNEES PHYSIOLOGIQUES DANS DES SITUATIONS D'ATTENTION

Les données physiologiques que nous venons de présenter sont celles de la régulation de la vigilance fondamentale, base de tout comportement. Il était nécessaire de nous maintenir sur le plan de cette "vigilance - niveau d'activation globale" capable d'être étudiée chez la grenouille ou le chat aussi bien que chez l'homme. Il s'agit du plan objectif d'une vigilance vidée de tout contenu de conscience.

Mais la réalité est beaucoup plus complexe, Il n'existe pas une vigilance mais des niveaux de vigilance. A ces niveaux de vigilance multiples correspondent des niveaux de conscience qui, en retour, participent à la régulation même de l'état vigile. Le travail intellectuel, l'effort de la volonté, les motivations exercent une influence importante sur le niveau de vigilance. Ce sont là des vérités d'évidence, d'observation courante. Une personne très préoccupée aura beaucoup de difficultés à s'endormir ; des bruits imperceptibles sont entendus dès qu'on les écoute, un bruit faible mais très significatif peut davantage attirer l'attention qu'un bruit plus fort mais tout à fait neutre.

Et puisque le but dernier de notre recherche est le comportement de l'homme normal, mieux de l'homme au travail, toute approche de l'homme considéré dans son unité psychique et physiologique représente pour nous un motif d'attention toute particulière.

C'est donc un autre aspect de la physiologie que nous allons maintenant interroger : la physiologie du comportement tout en étant très conscient du caractère limité des connaissances dans ce domaine et du caractère souvent hypothétique des schémas proposés.

Le problème des corrélations entre les données physiologiques et les observations du comportement a toujours été un sujet de recherche. L'oeuvre entière de PAVLOV représente un effort pour éclairer ces correspondances ; mais le développement des techniques physiologiques ne permettait pas, à cette époque, de pénétrer au niveau même des structures nerveuses.

On assiste depuis quelques années à la reprise des études de conditionnement complétées, précisées par explorations électrophysiologiques en utilisant des animaux "chroniques". Ces méthodes se révèlent très fécondes. Des études sont également entreprises chez l'homme dans le même esprit. Elles sont nécessairement plus superficielles, les enregistrements se faisant par technique électroencéphalographique. Toutefois, quelques observations privilégiées ont pu être pratiquées à la faveur d'interventions neuro-chirurgicales. Les éléments qui vont suivre sont tous relatifs aux comportements de vigilance et d'attention.

A - SPECIALISATION DE CERTAINES STRUCTURES DANS CERTAINS COMPORTEMENTS

Le fait que la trace d'un stimulus quelconque puisse être retrouvée au niveau de nombreuses structures sous-corticales et corticales pouvait conduire à penser que l'ensemble de ces structures répond massivement à la stimulation, de façon homogène et indifférenciée. En fait, il semble admis qu'il puisse y avoir une spécialisation des structures mises en jeu selon les caractères

du stimulus. Les structures réticulaires n'agiraient pas seulement comme un simple fournisseur d'énergie, mais déjà à leur niveau s'opérerait une certaine discrimination. Cette conception est encouragée par le fait que la réticulée est en connexion étroite avec des structures relativement différenciées comme l'hypothalamus, le thalamus, le rhinencéphale dont le rôle dans le processus de l'émotion et de l'affectivité a été rappelé précédemment.

ROSSI et ZANCHETTI attirent l'attention sur le nombre des données récentes tant anatomiques que physiologiques qui suggèrent que le système activateur ascendant serait capable de discrimination entre les stimuli afférents et capables donc de diriger sélectivement ses propres efférences vers les différentes structures sous-corticales. Ces auteurs suggèrent qu'il faudrait donc distinguer deux rôles aux structures réticulaires :

- une action diffuse de simple dynamogénisation,
- une action plus sélective de facilitation au niveau de certaines structures sous-corticales et corticales.

Cette facilitation de certaines afférences sensorielles par intervention réticulaire a été observée par DUMONT et DELL (1958).

La différenciation qui semble s'affirmer au sein des structures réticulaires du tronc cérébral existerait également entre ces dernières et le système thalamique diffus. Bien qu'on ne connaisse pas clairement les rapports physiologiques entre ces deux systèmes, plusieurs auteurs pensent que leurs actions seraient plus complémentaires qu'identiques. Pour JASPER le système thalamique diffus provoquerait un éveil cortical plus localisé et supporterait des fonctions plus évoluées correspondant par exemple à la réaction d'attention alors que le système réticulaire du tronc cérébral assurerait surtout une fonction d'éveil primaire indifférencié.

GASTAUT insiste également sur cette différenciation fonctionnelle pour expliquer les mécanismes centraux de l'émotion. Les structures les plus basses de la réticulée seraient responsables des réactions de surprise à des stimuli brefs, intenses et nouveaux ; les signaux répétés ou neutres, privés de valeur d'alarme agiraient par contre sur les parties les plus hautes de cette formation et sur le système diffus thalamique, y provoquant la simple réaction d'attention.

B - MECANISMES SOUS-CORTICAUX DE LA REACTION D'ATTENTION

Au cours de la réaction d'attention, les structures réticulaires mésencéphaliques (le plus haut situées) et le système diffus thalamique provoqueraient une facilitation au niveau des aires spécifiques corticales où l'activité est momentanément concentrée (aires auditives pour des stimuli auditifs) et une inhibition au niveau des aires corticales non intéressées. Ce processus de facilitation élective contemporaine d'une inhibition plus ou moins généralisée a été mis en évidence au moyen d'expérimentation sur animaux chroniques.

HERNANDEZ-PEON, SCHERRER et JOUVET ont établi que le phénomène d'inhibition s'opère au niveau sous-cortical. Les potentiels évoqués par des stimuli sonores réguliers au niveau du noyau cochléaire du chat peuvent être réduits, voire effacés, par l'intervention de stimuli significatifs : présentation d'une souris par exemple (Fig. I.20).

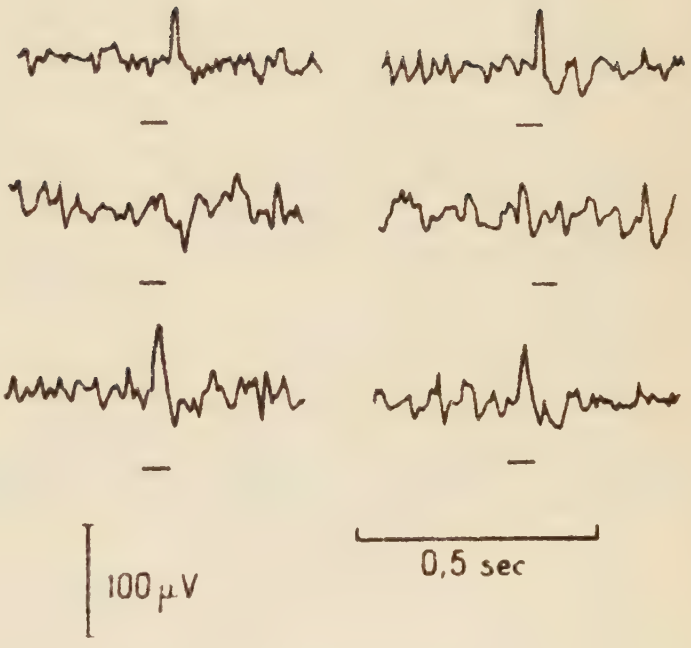


FIG. I.20.

Réponses de clic au niveau du noyau cochléaire.

Contrôle animal « relaxé ».

Pendant « l'attention » provoquée par présentation d'une odeur de poisson.

Contrôle animal « relaxé » à nouveau.

d'après Jouvet et Hernández-Péon

Une stimulation olfactive, une sensation douloureuse au niveau de la patte, attirant également l'attention de l'animal, entraînent cet effet de blocage des signaux auditifs sans signification.

JOUVET et HERNANDEZ-PEON rapprochent ce phénomène de celui de l'inhibition externe des réflexes conditionnés. Ils expliquent ainsi ce mécanisme : "Le signal évoquant l'attention en même temps qu'il met en jeu l'action dynamogénique générale de la formation réticulaire entraînant une action rapide corticale, déclenche une action inhibitrice centrifuge agissant sur les premiers relais sensoriels". (Fig. I.21).

La répétition d'un stimulus sensoriel lui ôte rapidement toute signification et la réponse correspondante diminue puis disparaît. L'ensemble de ces phénomènes caractérise l'habituation. HERNANDEZ-PEON, SCHERRER et JOUVET ont également étudié l'habituation sur animaux, chroniques (Fig. I.22). Ils concluent à la similitude des mécanismes physiologiques assurant habituation et attention : les signaux sans signification ne sont pas transmis.

Plus récemment, DECHAUME, JOUVET et Collaborateurs devaient confirmer ces mécanismes par des observations humaines pratiquées au cours d'interventions chirurgicales sur le cerveau.

Les auteurs introduisent une électrode bipolaire par un trou de ventriculographie et enregistrent les réponses des aires corticales visuelles à des flashes lumineux. Ces réponses sont fortement inhibées par une opération intellectuelle (réponse à une question) ou la présentation d'une stimulation sensorielle (odeur d'éther ou piqûre cutanée).

Par la même technique ces auteurs objectivent un exemple de trouble de l'attention dans un cas d'hystérie.

La malade présentait une hypoesthésie à tous les modes. Les réponses visuelles ne furent pas modifiées par une forte torsion des orteils. Par contre, des stimulations verbales à charge affective entraînèrent un blocage des signaux visuels.

C - UNE ETUDE ELECTROPHYSIOLOGIQUE EN ATTENTION CONTINUE

Les résultats qui viennent d'être présentés se rapportent surtout à des réactions d'attention à des stimuli "attractifs". Il nous semble important de les différencier des états d'attention continue. Pour l'attention prolongée, il nous faut insister sur l'importance de l'intervention de la volonté et donc des motivations.

DAS (CALCUTTA) et GASTAUT présentaient en 1955 une étude à cet égard très privilégiée puisqu'elle portait sur les variations de l'activité électrique du cerveau, du coeur et des muscles squelettiques au cours de la méditation et de l'extase yogique.

Les résultats électro-encéphalographiques montrent une accélération progressive du tracé avec une augmentation de ces rythmes rapides dans les cas de méditation très profonde correspondant à l'étape de l'extase yogique. Après la fin de la méditation, les rythmes alpha réapparaissent (Fig. I.23).

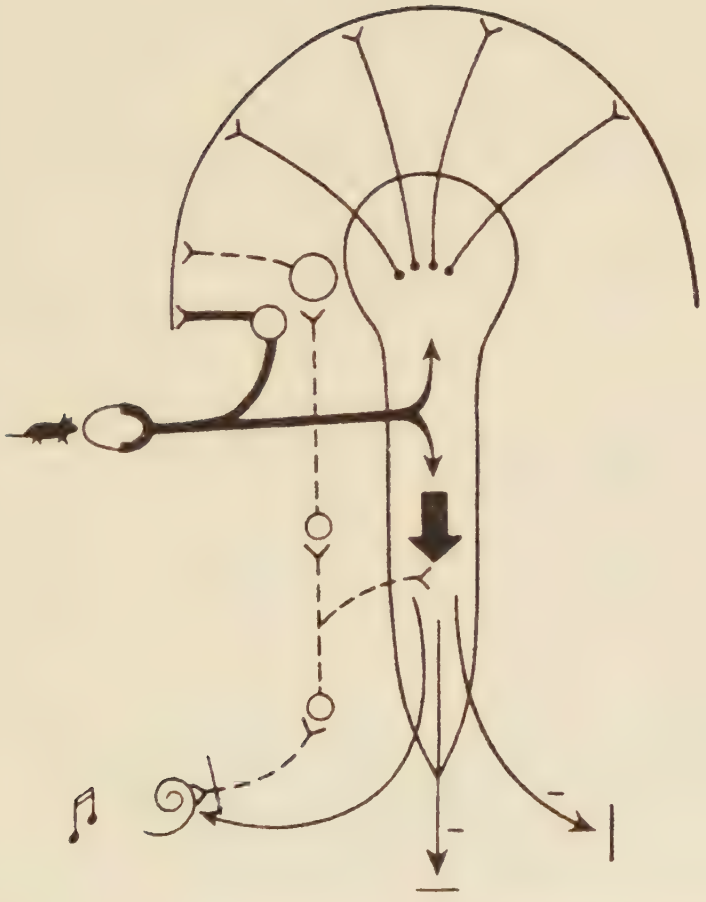


FIG. I.21.

Schéma montrant que le signal attirant l'attention, en même temps qu'il met en jeu l'action dynamogénique corticale de la formation réticulée, entraîne une action inhibitrice centrifuge au niveau des autres afférences sensorielles.

d'après Jouvet et Hernández-Péon

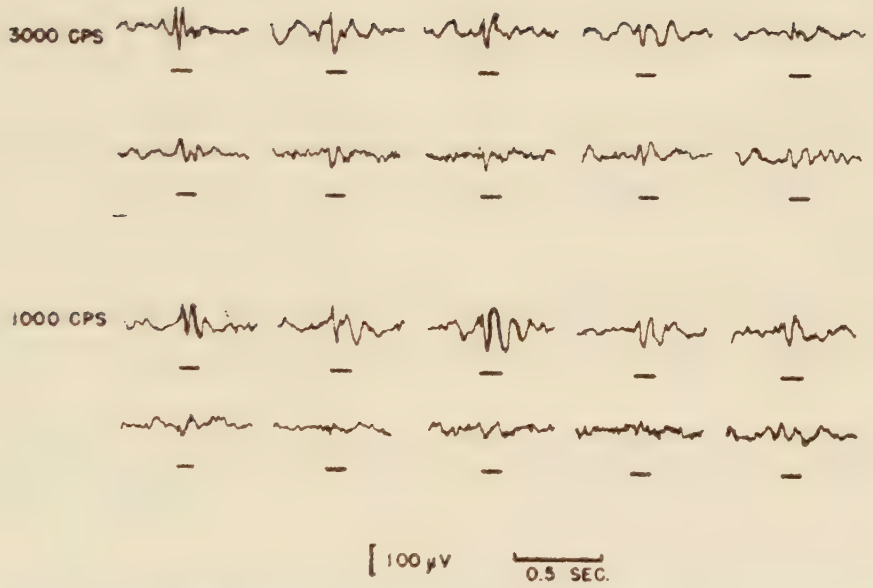


FIG. 122. *Réponses de clic au niveau du noyau cochléaire.*

Les deux premières lignes montrent l'habituation d'un clic d'une fréquence de 3 000 C. P. S., répété toutes les deux secondes. La présentation d'un clic de 1 000 C. P. S s'accompagne d'une réponse d'amplitude normale, qui devient ensuite « habituée ».

d'après Jouvet et Hernández-Péon

Par ailleurs, toutes les stimulations auditives, lumineuses, tactiles ou nociceptives, appliquées pendant l'état de méditation profonde sont sans effet sur l'activité électrique cérébrale et ne modifient pas les rythmes rapides et de grande amplitude qui ont été décrits.

Les auteurs interprètent la méditation et l'extase yogique comme "une concentration extrême de l'attention sur l'objet médité, accompagnée d'une excitation réticulée intense avec désynchronisation ou synchronisation rapide de l'électrogénèse corticale, accélération cardiaque et déafférentation sensitivosensorielle physiologique".

D - CONCLUSIONS

Les caractéristiques des signaux afférents semblent déterminer la discrimination des circuits cérébraux mis en jeu. A cet égard l'intensité et la signification des stimuli seraient deux facteurs importants. Le rôle de signification et des stimuli verbaux est essentiel - selon JUNG - pour l'interprétation des mécanismes cérébraux impliqués dans l'activation. Les stimuli verbaux quoique peu intenses, comme le sussurement du nom, peuvent être plus efficaces qu'un bruit de forte intensité (L1 et collaborateurs 1953).

L'importance de la nature des stimuli explique les différences des comportements provoqués par des signaux divers : réaction de surprise ou réaction d'attention, indifférence ou réactions émotionnelles de peur, de colère ou de joie.

La discrimination des stimuli s'opère au moins en partie au niveau sous-cortical lors de l'attention. Certaines parties de la formation réticulaire mésencéphalique et le système thalamique diffus jouent certainement un rôle important au sein du mécanisme de contrôle mis en jeu.

Les données neurophysiologiques indiquent encore que l'attention est accompagnée d'une facilitation des messages signifiants et d'une inhibition des afférences neutres.

L'attention prolongée supposerait l'intervention des motivations et de la volonté. La méditation et l'extase yogique nous semblent représenter un des états extrêmes de l'attention entraînant une très forte activation à l'EEG. Pour JUNG "l'attention volontaire processus actif, peut avoir le même effet que les stimuli sensoriels "subis" ; cette analogie pourrait indiquer que ces mêmes effets peuvent être obtenus à partir des mêmes systèmes neuroniques".

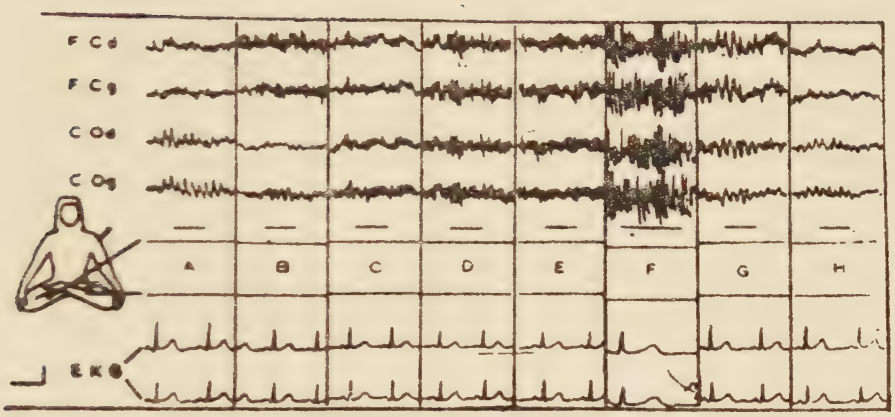


Fig. I.2a. — *Enregistrement de 8 étapes de la méditation chez le même sujet, mais au cours d'un autre exercice.*

A. Repos dans la position du lotus : rythme alpha occipital à 8 c/s; rythme bêta rolandique à 18 c/s; cœur à 70 r. p. m.

B. Exercices respiratoires (Prânâyâma) : rythme alpha à 9 c/s; rythme bêta à 30 c/s, augmenté d'amplitude; cœur à 70 r. p. m.

C. Méditation légère : rythme occipitaux et centraux à 25 c/s, d'amplitude accrue; cœur à 75 r. p. m.

D. Méditation profonde : rythmes occipitaux et centraux de même fréquence, mais encore plus amples et avec dédoublements à 12,5 c/s; cœur à 75 r. p. m.

E. Méditation très profonde (extase) : rythmes occipitaux et rolandiques complexes où l'on reconnaît des fréquences à 20, 25 et 30 c/s; cœur : 75 r. p. m.

F. Extase : mêmes activités que précédemment, mais enregistrées avec une amplification et une vitesse de déroulement doublées.

G. Immédiatement après l'extase : rythmes occipitaux et temporaux à 18 c/s, avec bouffées généralisées à 9 c/s (il est remarquable que ces bouffées se manifestent jusque dans les dérivations centrales); cœur à 60 r. p. m.

H. Une heure après la fin de l'extase : rythmes occipitaux à 9 c/s; rythmes rolandiques à 18 c/s; cœur à 70 r. p. m.

F. C. d. = dérivation fronto-centrale droite; F. C. g. = dérivation fronto-centrale gauche; C. O. d. = dérivation centro-occipitale droite; C. O. g. = dérivation centro-occipitale gauche; les traits horizontaux indiquent 0,5 seconde et le trait vertical 50 microvolts.

d'après Das et Gastaut

DEUXIEME PARTIE

L'HYPOTHESE DE TRAVAIL

I - UNE OBSERVATION INDUSTRIELLE

L'observation effectuée en 1932 par WYATT et LONGDON en préliminaire à une étude sur les procédés de contrôle industriel nous semble la meilleure approche au problème que nous voulons aborder. Leur investigation porte sur le travail d'ouvriers assurant le contrôle et l'empaquetage de chargeurs dans une manufacture d'armement. Pour le contrôle le travailleur prenait cinq chargeurs dans chaque main et examinait les extrémités en particulier le dispositif de percussion. L'opération complète d'examen et d'empaquetage de 25 cartouches était accomplie en 30 secondes environ. On supposait que le nombre de chargeurs défectueux était également distribué dans les quatre heures de durée du travail. La proportion des chargeurs rejetés dans chaque quart d'heure était mesurée en six occasions différentes par deux contrôleurs différents.

Le pourcentage de chargeurs rejetés variait de 1 à 4 % environ et montrait une chute remarquable après les premières 30 ou 45 minutes de travail. Ce résultat se maintenait approximativement pendant 90 minutes mais était suivi par une reprise irrégulière.

Cette durée de 30 minutes est très caractéristique puisque les travaux expérimentaux reproduisant des situations du même type mettent en valeur cette même durée moyenne au-delà de laquelle se produit une dégradation des performances.

II - ANALYSE DES STATISTIQUES DES ACCIDENTS DE LA ROUTE

Quand nous avons abordé ces problèmes de dégradation de la performance en travail long et monotone, nos motivations étaient un peu différentes. Il s'agissait pour nous de donner une réponse plus satisfaisante au problème posé par les accidents inexpliqués.

En effet un grand nombre d'accidents de la route et du travail se produisent sans qu'aucun évènement particulier puisse en rendre compte.

L'analyse statistique suivante illustre bien ces problèmes.

A - Les accidents de la route inexpliqués

A l'origine des accidents survenus en FRANCE en 1957 et qui ont causé 8.000 tués et 180.000 blessés on trouve, d'après les statistiques officielles :

19 % de conducteurs déficients dont les 2/3 étaient fatigués, endormis, inattentifs ou distraits.

Et fait plus remarquable, sur les 11.000 accidents survenus sans collision, plus de la moitié se sont produits en ligne droite ; beaucoup sont inexpliqués, conditions extérieures normales, aucun incident technique.

Une étude américaine sur le même sujet présente les chiffres suivants : (il s'agit de statistiques portant sur les accidents fatals en zone rurale de l'Orégon),

- accidents sans collision = 36 % dont 50 % en ligne droite.

Facteur humain

19, % de conducteurs déficients dont 2/3 fatigués, endormis, inattentifs ou distraits.

Accidents sans collision : 11 %

Accidents	mortels	%	non-mortels	%
total	1203		9827	
ligne droite	651	55	5753	58

ACCIDENTS DE LA ROUTE EN FRANCE EN 1957

8.000 tués

180.000 blessés

Tableau II 1

Selon leur conviction les victimes et les experts attribuent alors l'accident à une défaillance humaine brutale (accidents cardiaques ou cérébraux) ou à l'endormissement. Le plus souvent aucune preuve ne peut être donnée à ces explications.

Sans vouloir exclure ces causes qui sont en jeu dans un nombre limité de cas, nous pensons que beaucoup d'accidents sont dus à la baisse de vigilance. Il s'agit d'un état qu'on peut présenter comme étant à mi-chemin de l'éveil, de l'attention concentrée et du sommeil. Quand il y a perte de vigilance, une grande partie des événements en rapport avec la tâche poursuivie ne sont pas perçus ou perçus de façon incomplète. Ces pertes de vigilance se rencontrent essentiellement au cours de tâches longues et monotones.

B - La fréquence des endormissements

La perte de vigilance peut d'ailleurs aller jusqu'à l'endormissement. Une étude statistique américaine cite le chiffre de 9 % d'accidents reconnus causés par l'endormissement. Une Enquête de Mac FARLAND auprès de "Routiers" établit la fréquence des hallucinations au cours de brefs assoupissements chez des conducteurs fatigués.

C - Localisation des accidents dans le temps de travail

Nous voulons insister sur une caractéristique générale des accidents relative à leur localisation dans le temps de travail. Paradoxalement ils ne se produisent pas en fin de travail mais au bout de quelques heures. Les statistiques d'accidents dans l'industrie montrent que la plus grande fréquence est située au milieu de la demi-journée. De même Mac FARLAND trouve que 60 % des accidents chez les conducteurs de camion surviennent dans les premières heures de la conduite.

Si les accidents n'arrivaient qu'en cas d'extrême fatigue leur fréquence maximum se situerait en fin de travail. Leur localisation particulière suggère plutôt une défaillance dans les possibilités de contrôle de l'activité générale du système nerveux central.

III - DESCRIPTION DE LA CONDUITE AUTOMOBILE

Conduire ne demande pas de qualités physiques très particulières ; aucune manoeuvre ne demande d'adresse, d'habileté, ce n'est pas une tâche de précision. On peut décomposer la conduite en gestes élémentaires, mouvements simples de la main et du pied (volant, leviers, boutons, pédales). La conduite suppose seulement une coordination des différents actes élémentaires. L'apprentissage se fait plus ou moins rapidement mais celui-ci une fois acquis, la conduite devient pratiquement automatique, physiologiquement elle est sous-corticale.

Les facultés supérieures interviennent cependant dans la conduite. La voiture n'évolue pas seule dans un cadre vide et neutre.

1°) Le conducteur doit tenir compte des particularités du terrain qui lui parviennent par l'observation directe et aussi par la lecture des différents signaux plantés le long de la route (virage difficile - route glissante - voie étroite, etc...).

2°) Il doit tenir compte aussi de l'entourage : apparition d'obstacles, de voitures ...

Ce sont encore des signaux qui lui parviennent :

- vision de l'objet
- appels de phares
- signaux lumineux de toutes sortes
- signaux sonores.

3°) Enfin le conducteur doit être présent à son véhicule :

- surveillance du tableau de bord
- écoute du bruit du moteur
- dépistage de bruits anormaux, d'odeurs particulières, etc...

Il en ressort que la conduite suppose une attention constante, un maintien en éveil continu du cerveau, disons encore un état de vigilance.

La conduite est une activité complexe qui utilise des informations nombreuses et diverses et qui suppose des réactions rapides, très adaptées faisant appel aux automatismes mais aussi aux facultés de jugement et de décision.

En résumé

- le plus souvent :

réponses élémentaires simples coordonnées en séries et généralement automatiques (activité nerveuse sous-corticale) ;

- parfois

réponses d'ordre supérieur, volontaires (activité nerveuse corticale);

- mais toujours et quel que soit le contexte de la conduite (ville - campagne - jour - nuit) - la conduite reste un état de vigilance (l'organisme et le système nerveux central plus particulièrement est en état d'alerte).

Les études relatives à la fatigue en automobile et à son rôle dans les accidents paraissent dès maintenant dévoir s'orienter vers les problèmes d'attention, de vigilance.

Du point de vue physiologique et médical, la fatigue d'attention pose un problème très général que l'on rencontre non seulement dans la conduite automobile mais dans le pilotage des autres moyens de transport, dans certaines tâches industrielles de surveillance et de contrôle (dispatching, contrôle de fonctionnement).

La fatigue nerveuse centrale se manifeste assez précocement par la baisse de la vigilance d'un homme attaché à une tâche longue et monotone pour laquelle il doit rester vigilant.

Il s'agit malheureusement là d'une étude difficile. Avant de proposer un dispositif expérimental, nous avons étudié les différents procédés qui ont été proposés pour évaluer la fatigue centrale. Avant d'en faire l'inventaire critique, nous donnons ci-dessous une analyse rapide de la seule étude générale qui existe sur la fatigue en automobile.

IV - LES TRAVAUX DE ROSS Mc FARLAND

Dans le domaine de la conduite automobile, la seule étude générale sur la fatigue a été entreprise et est actuellement continuée par l'équipe américaine du Professeur Ross Mac FARLAND (Harvard School of Public Health). Des méthodes de travail très diverses ont été utilisées successivement et ont fait l'objet de publications.

A) - Utilisation des tests de fatigue nerveuse classiques :

Les premières études ont essayé de déterminer l'influence de la conduite automobile prolongée sur les performances physiques et intellectuelles au moyen de tests passés avant et après la période de conduite.

"Après la conduite prolongée, on a mis en évidence une diminution des performances réalisées dans un certain nombre de tests psychomoteurs. De telles détériorations indiquent une altération de l'efficacité et par là même une plus grande vulnérabilité aux accidents".

Le schéma n° 1 montre la variation des résultats aux différents tests en fonction du nombre d'heures de conduite chez des chauffeurs de camions routiers.

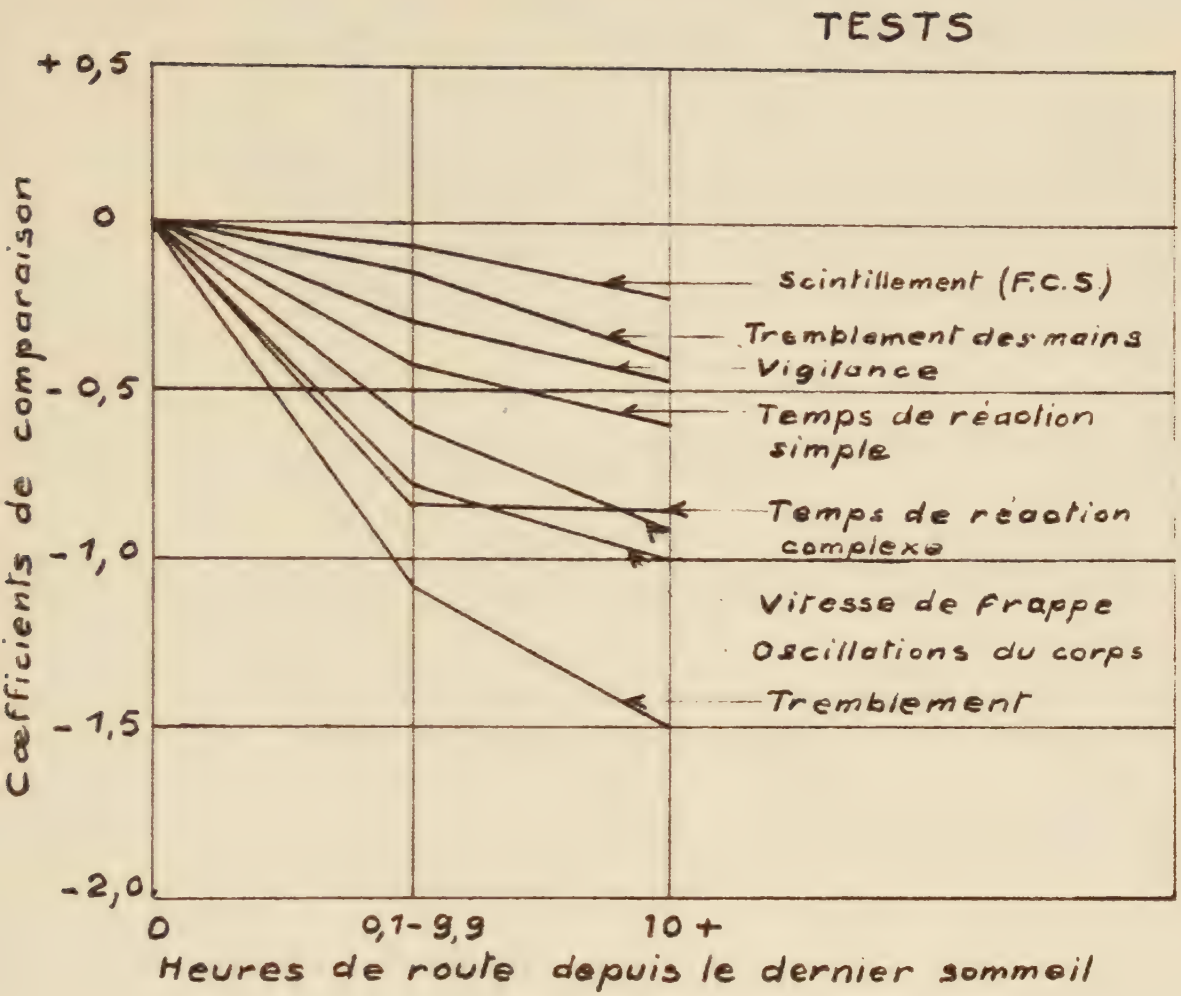
La conclusion de l'auteur est la suivante : "Mais ces moyens traditionnels par lesquels la fatigue a été recherchée n'ont que peu de rapport avec la situation de conduite". Il est bien certain que les tests outre leur sensibilité insuffisante ont le très grave inconvénient de se situer hors de la conduite automobile elle-même. Le seul fait de changer de travail bouleverse l'état de vigilance que l'on veut précisément mesurer. Cette critique est générale et nous la retrouverons dans l'étude des tests analytiques que nous ferons plus loin.

B) - Enquêtes et statistiques

Ross Mc FARLAND a ensuite essayé de cerner certains aspects particuliers par des études statistiques et par des interrogatoires de conducteurs.

1. Etudes statistiques :

L'étude de la fréquence des accidents de la route des conducteurs de camion en fonction du nombre d'heures de conduite depuis le départ ou depuis le dernier sommeil n'a donné que des résultats décevants.



Détérioration des performances aux tests en fonction de la durée des périodes de conduite

Schéma 1.

"En réalité, dans le cas des conducteurs de camion, la plus grande fréquence des accidents (environ 60 %) est située dans les trois premières heures de conduite plutôt que dans les dernières heures". On peut rapprocher ce cas particulier du problème général de la répartition des accidents dans la durée du temps de travail.

Il existe des explications classiques (durée et qualité du dernier repos, temps écoulé depuis le dernier repos, nature des activités précédant le début du trajet, indice d'émotivité). En réalité les accidents surviennent de façon inattendue mais sur un terrain de fatigue nerveuse centrale préparé par le manque de sommeil et l'excès des heures de conduite. La perte de vigilance sur un sujet fatigué se produit plus facilement après un court repos.

2. Enquêtes :

Les enquêtes menées auprès de conducteurs de camions routiers ont apporté des résultats intéressants.

Cette investigation originale portant sur une centaine d'interviews prouve la fréquence des hallucinations survenant dans des états de grande fatigue. L'exemple suivant a valeur générale :

- une route droite, plate - la nuit est tombée - le conducteur fatigué lutte pour ne pas dormir - soudain une vache sur la route - embardée ou coup de frein brutal et ... réveil avec ou sans accident, mais pas de vache - la route était déserte.

Ces hommes ont noté que la fréquence des hallucinations diminue considérablement quand - pendant une certaine période - la longueur de la journée de travail se trouve réduite.

C) - Etudes de comportement

Après l'échec relatif de la méthode des tests psychomoteurs et de l'étude statistique, Ross Mc FARLAND a étudié le comportement des conducteurs dans des situations rendues artificiellement très sévères. Le critère de fatigue est le nombre et le type des erreurs opérationnelles de conduite.

1. Epreuve d'extrême fatigue sur parcours d'obstacle

Un sujet jeune, bien portant, après 24 heures sans sommeil, va subir une épreuve de conduite expérimentale de 4 heures. Pendant ce laps de temps, 9 épreuves se présenteront à lui en ordre quelconque : obstacle soudainement découvert en sortant d'un virage, passage extrêmement difficile, manoeuvres délicates, etc... Chaque épreuve - véritable test - sera répétée 90 fois durant les 4 heures et l'évolution du comportement pourra être suivie pendant le déroulement des opérations.

2. Epreuve sur parcours naturel difficile :

Il s'agit d'une étude analogue mais réalisée sur un parcours naturellement difficile. L'autocar parcourt 400 km. avec de fortes variations d'altitude, de climat (vent, pluie, route glissante), de volume de trafic.

Les conclusions de Mac FARLAND sur ces deux études montrent que la tâche complexe qu'est la conduite automobile est exécutée de façon de moins en moins satisfaisante à mesure que l'effort se prolonge.

On observe successivement :

a) une réponse correcte mais légèrement inadaptée (réaction retardée);

b) une augmentation de la variance des temps de réaction plus qu'un allongement systématique des temps de réaction ;

c) une diminution de la qualité intégrative du cerveau : le sujet répond aux stimuli particuliers sans en faire la synthèse et en percevoir la signification totale. Le conducteur attribue de plus en plus mal l'indice d'importance qu'il faut affecter à chaque signal, chaque événement ; il en résulte des réactions inadaptées et certains signaux même importants sont méconnus.

Enfin, il est important de remarquer la perte du jugement sur le sérieux de la situation : la performance se détériore sans que le sujet en ait conscience.

3. Discussion :

La méthode d'observation globale du comportement fournit incontestablement d'intéressants renseignements. Ces résultats sont obtenus pour des épreuves de fatigue importante. :

- conduite très prolongée,
- conduite après 24 heures sans sommeil,

mais il n'est pas inutile de faire remarquer que ces conditions se retrouvent souvent dans la vie courante : état de fatigue chronique, insomnie quelle qu'en soit la cause, événements psychologiques violents qui n'empêcheront pas l'automobiliste de vaquer normalement à ses affaires et d'utiliser sa voiture malgré un état nerveux anormal.

Malheureusement, les résultats de cette méthode gardent un caractère très global qu'il est difficile d'éviter. L'analyse ne peut être poussée pour obtenir des directives pour la prévention des accidents.

Aussi intéressant qu'il soit le triple travail de Mac FARLAND nécessite un sérieux complément afin de réaliser un instrument précis et adapté d'étude de la vigilance en automobile. Nous allons étudier successivement :

1° - des méthodes se rapprochant des premiers tests étudiés par Mac FARLAND et qui sont caractérisées par le fait que le travail (la conduite automobile) doit être interrompu pour permettre le contrôle ;

2° - des méthodes d'examen qui permettent une observation continue pendant l'exécution du travail.

CONCLUSIONS

Au terme de ces premières investigations, il nous paraît donc vraisemblable de formuler le schéma d'hypothèse suivant :

- la vigilance est suffisante pour percevoir le signal, le danger inattendu, mais insuffisante pour y répondre de façon adaptée.

- parfois la vigilance est tellement abaissée que l'état du sujet confine à l'endormissement, c'est alors que se produisent les brefs assoupissements avec ou sans hallucinations.

- enfin chez des sujets fatigués, ou conduisant dans des conditions particulières de monotonie, c'est l'endormissement complet.

TROISIEME PARTIE

LES MOYENS D'ETUDE

I - LES TESTS DE FATIGUE NERVEUSE

Les tests de fatigue nerveuse sont des épreuves standardisées que l'on fait passer au sujet avant et après l'effort. Ils ne sont pas spécifiques du travail considéré et constituent une interruption du travail lui-même.

On peut en distinguer plusieurs catégories :

A - Tests psychomoteurs,

B - Tests d'équilibration,

C - Tests visuels

D - Epreuves de conditionnement.

A - Tests psychomoteurs

Les tests psychomoteurs sont les plus anciennement utilisés par les expérimentateurs pour étudier la fatigue nerveuse. Ils consistent à faire répondre un sujet à un signal plus ou moins complexe par un mouvement donné. Le critère peut être le temps de réaction ou la fréquence des réponses exactes (dans les situations complexes).

1° - Mesure des temps de réaction :

La valeur du temps de réaction dépend de la durée :

a) de l'excitation des récepteurs périphériques,

b) de la transmission aux centres et des centres aux effecteurs, mais en outre,

c) de processus centraux :

- niveau de vigilance,
- difficulté de la tâche, etc...

- Matériel

La mesure du temps de réaction nécessite l'emploi d'un chronoscope qui donne une précision du centième de seconde. Le montage doit être tel que l'opérateur en déclenchant la stimulation mette en marche le chronoscope que le sujet arrête par sa réaction.

L'opérateur dispose d'un ou plusieurs signaux lumineux de couleurs différentes et le sujet d'une ou plusieurs clefs de réaction (clef morse).

- Résultats

Le seuil physiologique du temps de réaction simple est de l'ordre de 10 à 12 centièmes de seconde. Pour chaque expérience, pour chaque sujet, un certain nombre de mesures sont faites :

- on dresse un histogramme
- on groupe les mesures (4 ou 5 groupes) en respectant la chronologie de l'expérimentation et pour chaque groupe on calcule la médiane.
- on analyse alors la variation de la médiane, ce qui permet de suivre l'évolution du sujet : mise en évidence d'un certain apprentissage, au contraire d'une certaine fatigue, etc...

- Différentes modalités

Temps de réaction simple

- un seul type de signal
- un seul type de réponse

Temps de réaction complexe

Le sujet doit réagir différemment à deux signaux différents selon la consigne donnée. Les différents signaux sont présentés dans un ordre quelconque.

Temps de réaction de discrimination

Le sujet doit réagir à certains excitants et ne pas réagir à d'autres. La consigne sera par exemple "agir pour le signal rouge, s'abstenir pour le signal bleu".

La mesure des temps de réaction est souvent présentée comme une épreuve d'attention, une mesure de la stabilité de l'attention. En réalité, il s'agit d'un cas particulier, celui de l'extrême concentration de l'attention du fait de la durée relativement courte de l'épreuve totale (10 minutes), du petit nombre des signaux attendus, de leur faible espacement. On peut rapprocher la situation du test du temps de réaction de celle de l'automobiliste qui épie le virage du feu de croisement du rouge au vert, pour démarrer le premier.

2° - Test d'attention diffusée :

a) Description

L'appareillage est installé dans une pièce obscure, insonorisée, assez vaste. A l'une des extrémités de cette salle, un écran de projection est fixé sur un bâti autour duquel sont disposées des lampes électriques de couleur jaune, verte et rouge. Chaque lampe peut être allumée et éteinte par l'opérateur ou de façon automatique.

Des sonneries de tonalités différentes sont dispersées dans la pièce et peuvent être commandées par l'opérateur ou par le programme.

Le sujet est assis devant une table, il tient une précelle dans chaque main, il pose chaque pied sur une pédale.

Le test se déroule de la façon suivante : le sujet regarde l'écran où est projeté un film en rapport avec le métier étudié. En même temps, le sujet reçoit des stimuli visuels et auditifs selon un ordre et une cadence préétablis.

Le sujet doit répondre d'après la consigne, par des manoeuvres du pied et de la main particulières pour chaque signal.

b) Analyse

Ce test permet comme d'autres tests psychomoteurs d'étudier les qualités de la réaction à un signal. Il permet aussi de juger des facultés d'apprentissage. Dans la notation, on relève en effet :

- la durée des explications nécessaires pour le sujet,
- la durée d'apprentissage (temps nécessaire pour que le sujet réussisse une série complète sans erreur),
- le nombre d'erreurs par rapport au nombre de stimulations dans toute la durée de l'épreuve.

Mais, l'originalité de ce test serait la possibilité de mesurer la capacité d'attention. L'objet du film est de disperser l'attention, de la "diffuser" et de mesurer dans quelle proportion la tâche (réponse discriminative aux stimuli) est perturbée par la projection filmée. Ce point est des plus intéressants car la situation ainsi créée tend à reproduire globalement la réalité de nombreuses situations de travail (voiture par exemple). En effet, que l'homme soit dans un bureau, un atelier ou un chantier, qu'il soit devant une machine ou dans la cabine d'une grue ou d'une pelle mécanique, qu'il soit encore au poste de conduite d'une voiture ou d'un camion, il est en situation d'attention diffusée. Le travail est complexe et le sujet soumis à un environnement changeant (bruits, signaux, autres véhicules, etc...)

Aussi, le test dit " 'attention diffusée" est-il particulièrement intéressant dans l'étude de la conduite automobile. Cependant, il s'agit là de la situation de la conduite difficile, en ville par exemple. Or, nous avons vu plus haut que la situation qui nous paraît la plus importante à étudier pour la prévention des accidents, est celle d'une route monotone où le signal significatif est rare, où la vigilance est mise en jeu.

Deux particularités du test d'attention diffusée empêchent d'étudier la vigilance grâce à son dispositif.

- un état d'excitation émotive est volontairement introduit dans l'expérience par des coups de klaxon violents qui troublent l'examen. L'état émotionnel est d'ailleurs provoqué par l'expérience elle-même par la succession de stimuli visuels et auditifs de forte intensité.
- la durée relativement courte du test ($\frac{1}{2}$ heure en moyenne) n'en fait pas un test d'attention prolongée, de vigilance. D'autre part, les signaux sont très rapprochés (toutes les 2 secondes) et leur espacement assez régulier.

En conclusion, il s'agit d'un test très intéressant pour explorer le comportement de l'automobiliste dans la conduite difficile en ville mais il ne correspond pas à la situation que l'on rencontre sur une route monotone et déserte.

B - Test d'équilibration

Le test du tremblement en masse du corps a été proposé comme test de l'état de fatigue nerveuse centrale.

1° - Matériel

On place le sujet sur une balance appelée wettle-meter par les auteurs américains. R. Moynier et L. Lauru ont utilisé une balance piézoélectrique composée d'un plateau métallique très rigide reposant sur des capteurs à quartz disposés selon les trois plans de l'espace. L'appareil est très sensible et permet d'enregistrer les perturbations les plus fines de la statique d'un homme placé debout sur la balance.

2° - Résultats

Un sujet jeune et sain - normal - reste longtemps debout sur la balance sans perturber notablement le tracé. La fatigue amène rapidement un tremblement généralisé souvent invisible à l'oeil nu mais bien décelé par l'appareil.

3° - Données physiologiques

Pour maintenir la station debout, il existe tout un système complexe d'information, d'intégration et d'action.

Les informations proviennent de capteurs placés dans les muscles et les articulations eux-mêmes, dans l'oreille interne (appareil d'équilibration). Les centres nerveux reçoivent aussi des informations visuelles, auditives, tactiles.

L'intégration se fait dans le système nerveux central et surtout dans le cervelet, centre supérieur de l'équilibration.

L'action est commandée aux muscles sous forme de contraction des muscles actifs et de relâchement des muscles antagonistes.

L'état du système varie à chaque instant sous l'effet du changement du milieu ambiant et du changement de l'état des muscles et du système nerveux. Il se produit de ce fait une suite d'équilibres et de déséquilibres qui n'apparaissent pas chez le sujet normal dont l'intégration se fait bien, mais qui se traduisent en cas de fatigue par des perturbations de l'enregistrement sur la balance piézoélectrique.

4° - Critique

Le test de tremblement en masse du corps donne des résultats incontestables en cas de fatigue générale à participation musculaire. En cas de fatigue nerveuse centrale pure, le résultat est beaucoup moins net. Ce test n'est en tout cas pas un test de vigilance. On peut cependant noter qu'une notion générale déjà signalée à propos des travaux de Mac Farland se dégage de l'étude de ce test : la fatigue amène une désorganisation des fonctions complexes.

C - Tests visuels

Les trois tests que nous avons groupés sous le titre de tests visuels ont en commun la particularité d'explorer la fatigue en s'adressant à l'oeil et aux voies et centres optiques. Il s'agit donc de tests s'adressant de façon très directe au système nerveux central dont la rétine fait partie. Il paraît cependant difficile de séparer ce qui revient au récepteur oculaire proprement dit et au système nerveux central que l'on explore.

1° - Le test d'acuité stéréoscopique

La qualité de la vision du relief est utilisée comme test de fatigue depuis les travaux de Viaud sur le pouvoir réparateur du sommeil. Il y aurait une bonne corrélation entre la quantité de sommeil mesurée par sa profondeur et sa durée et le rendement du test dans la journée du lendemain.

Appareil

Le montage est constitué par deux fils verticaux, l'un fixe, l'autre mobilisable par l'intermédiaire d'un chariot mû à distance par le sujet le long d'une glissière (appareil de Galifret-Michotte). Le sujet doit s'efforcer de placer les 2 fils sur un même plan frontal (situé à environ 80 cm des yeux).

On ne tient compte que de la précision des réponses données par le sujet ; on utilise l'inverse de l'écart moyen des 2 fils au cours des 20 mesures qui constituent le test.

Critique

Il est difficile de présenter ce test comme un test d'attention au sens général du terme, ici l'activité est trop concentrée. Par contre, ce test qui demande beaucoup d'application peut traduire un relâchement, voir une disparition de la possibilité de concentration du sujet. En ce sens, ce test pourrait exprimer une fatigue d'ordre central.

Mais par ailleurs et parce qu'il demande beaucoup d'application et de précision, ce test peut aussi traduire une fatigue visuelle d'ordre périphérique puisque la vision en relief suppose la vision binoculaire (encore que des phénomènes de compensation se produisent chez le borgne) et qu'à cette distance intervient le phénomène d'accommodation à la distance. Nous pensons qu'il est possible qu'une fatigue localisée au seul appareil récepteur et particulièrement aux muscles moteurs de l'oeil et aux muscles de l'accommodation puisse à elle seule entraîner des variations de l'acuité stéréoscopique.

De toute façon, il est impossible d'utiliser ce test pour analyser des variations de la vigilance.

2° - La fréquence critique de fusion du scintillement (F.C.S.)

Quand la projection d'un film cinématographique se ralentit, quand un tube à décharge sous vide se dérègle, les images cessent d'être fondues en un ensemble continu. C'est la limite de fusion des images qui est étudiée par le test de fréquence critique de fusion du scintillement (F.C.S.).

Appareil

Le sujet regarde une source lumineuse homogène dont l'alimentation est régulièrement interrompue ou qui est régulièrement éclipsée derrière un cache. L'opérateur fait varier le nombre d'éclats par seconde et note la fréquence pour laquelle le sujet passe de l'impression de scintillement à l'impression de plage stable.

Résultats

Les auteurs qui ont étudié la F.C.S. ont tous noté sa constance chez un même sujet , à la même heure dans les mêmes conditions mais leurs conclusions concernant sa valeur en tant que test de fatigue sont très variables. En tout cas, des résultats significatifs (diminution de la F.C.S.) ne sont obtenus que dans des cas de fatigue importante.

Par exemple :

- sujet sous alimenté soumis pendant 3 jours à des efforts épuisants,
- marche de une à 4 heures sur un tapis roulant.

Dans ces conditions, on trouve un résultat significatif (diminution de la F.C.S. toujours minime), mais celui-ci semble se rapporter à un état de fatigue générale sans que l'on puisse établir un lien électif avec la fatigue nerveuse centrale.

Des résultats analogues sont également obtenus après plusieurs heures de lecture. Dans ce cas, il est difficile de préciser la part de la fatigue nerveuse centrale et celle de la fatigue oculaire. Ce test paraît en tout cas difficile à utiliser dans le problème que nous étudions : dans des travaux demandant un grand effort d'attention (pilotage d'un avion), il n'a pas été possible d'établir des résultats significatifs.

3° - Excitabilité rétinienne électrique

La rétine considérée comme un élément distal de l'encéphale est excitée électriquement et son excitabilité varierait avec la fatigue nerveuse centrale.

Description

On fait passer un courant électrique indolore entre 2 électrodes cutanées, l'une palpébrale, l'autre occipitale. La réponse est donnée par le sujet qui note l'apparition de phosphènes (sensation lumineuse subjective).

On recherche l'intensité minima nécessaire pour qu'apparaissent des phosphènes avec un temps d'excitation très court (de l'ordre de la milli-seconde).

Les résultats sont notés sous forme de courbes intensité-durée minima.

Résultats

Les mesures ont été effectuées après des travaux-tests en laboratoire, puis après des travaux en usine ainsi qu'en atelier de mécanographie. Les courbes intensité-durée, traduisant, en fonction du temps, l'excitabilité des neurones de l'appareil visuel, ont décelé des modifications montrant :

une hypoexcitabilité dans tous les temps pour des fatigues d'origine centrale et les anoxémies ;

une hyperexcitabilité dans tous les temps pour les grandes fatigues et les anoxémies prolongées, cet état persistant durant d'assez longues périodes avant que l'on puisse relever des tracés normaux ou similaires aux tracés antérieurs à l'épreuve test.

Critique

Ce test est intéressant pour étudier la rétine et les voies et centres optiques. Il enregistre des variations d'excitabilité rétinienne (phénomène périphérique), mais la réponse sous forme d'énonciation verbale affirme la perception centrale.

Cependant, il ne s'agit en aucune façon, d'un test d'attention. D'autre part, il paraît nécessaire de compléter l'exploration pour savoir à quel niveau du système neuro-rétinien porte la fatigue. Il peut s'agir d'un phénomène purement rétinien. Sous l'effet de la fatigue, il peut y avoir atteinte du pourpre rétinien. On sait qu'une variation minime dans la concentration du pourpre rétinien peut entraîner des variations importantes des phénomènes bio-électriques.

On ne pourra donner une interprétation plus complète que lorsque l'on disposera des résultats de l'examen simultané de l'électro-rétinogramme et des voies postérieures de l'électroencéphalogramme (Moynier).

D - Tests avec conditionnement préalable

Les tests que nous présentons sous ce titre diffèrent profondément des précédents dans la mesure où ils mettent en évidence la modification par le travail, par la fatigue de liaisons conditionnées acquises précédemment. Ces expériences sont toutes imaginées par les élèves russes de Pavlov.

1° - Description

Dans une première partie de l'expérience, il y a formation du conditionnement. Le signal (l'excitant) est présenté et une seconde après vient l'ordre verbal de l'expérimentateur "pressez la poire". Après plusieurs présentations du signal, suivies de l'ordre de l'expérimentateur, le sujet commence à presser la poire sans cet ordre, il se produit donc un nouveau réflexe conditionné.

La grandeur de la réponse, c'est-à-dire la force de la pression exercée sur la poire est enregistrée grâce à un manomètre. La période de latence de la réponse (temps écoulé entre la présentation du signal et la réponse) se mesure au chronomètre.

Le signal utilisé peut être :

- un signal simple (lampe blanche de 75 lux).
- un signal complexe (synthétique) constitué par la présentation de 4 lumières colorées.
- un signal complexe présenté alternativement avec des signaux complexes légèrement différents (inhibition différenciée synthétique) qui eux ne demandent pas de réponse.

- un signal complexe présenté tantôt seul, tantôt avec un autre signal inhibiteur (interdisant la réponse).
- un signal quelconque dont la réponse doit être retardée.

2° - Résultats

L'expérience porte sur un certain nombre de sujets auxquels on administre la même formation de conditionnement. Les sujets font ensuite un travail de laboratoire ou d'atelier. En fin de cycle l'état du conditionnement est vérifié.

a) La désorganisation des processus d'action

Les résultats sont présentés en pourcentage de sujets ayant fourni un certain type de réponse. Ils montrent que les conditionnements les plus fragiles sont liés aux signaux les plus complexes présentés en compagnie de signaux inhibiteurs ou alternativement avec des signaux complexes peu différents. Ces expériences permettent d'étudier la dégradation des fonctions intellectuelles complexes sous l'effet de la fatigue. Sous l'influence de la fatigue, il se produit un phénomène caractéristique : la désorganisation des processus d'action. C'est précisément cette désorganisation qui avait été mise en évidence par Mac Farland au cours des expériences que nous avons décrites dans l'introduction et où un conducteur parcourait une route très difficile dans un état de grande fatigue.

On peut résumer de la façon suivante les notions fondamentales confirmées par l'étude clinique américaine et l'étude expérimentale russe.

La fatigue déséquilibre l'activité harmonieuse du système nerveux central et provoque l'apparition d'une phase d'excitation suivie plus ou moins rapidement d'une phase d'inhibition. Les phénomènes d'inhibition prédominent et son quantitativement beaucoup plus importants. Ce déséquilibre désorganise les activités motrice et mentale de l'homme :

- Inadaptation des mouvements dans l'espace et dans le temps (perturbation des temps de réaction, troubles des mécanismes de contrôle),
- Perturbation des facultés d'attention et de jugement avec troubles de l'intégration, perte du jugement de ses actes et de ses possibilités, inconscience des situations.

b) Hypothèse sur l'horaire des accidents

On voit nettement dans les résultats des expériences de conditionnement que l'effet de la fatigue se développe en deux phases successives d'excitation et d'inhibition. Or, l'étude statistique de Mac Farland, déjà citée, aboutit à la conclusion que dans le cas des conducteurs de camions, la plus grande fréquence des accidents (environ 60 %) est située dans les 3 premières heures de conduite plutôt que dans les dernières heures. Cette constatation avait déjà été faite en milieu industriel. Dans la courbe générale des accidents du travail, on note deux maxima dans la journée : l'un au milieu de la matinée et l'autre au milieu de l'après-midi et non pas aux dernières heures de la journée de travail.

Nous pensons que ces résultats d'apparence paradoxale peuvent s'expliquer par l'allure biphasique de l'effet de fatigue dans les expériences de conditionnement. Chez des sujets fatigués, le travail du début de la journée détermine après 1 ou 2 heure de mise en route une phase d'excitation suivie, dans la fin de la demi-journée d'une phase d'inhibition. Cette explication suppose que la phase d'excitation favorise les accidents plus que la phase d'inhibition. Nous pensons que cela est vraisemblable.

3° - Conclusions

Les tests avec conditionnement préalable nous semblent d'un grand intérêt pour étudier l'effet de la fatigue sur les activités supérieures. Ils permettent certainement de comprendre un certain nombre d'actions inadaptées, génératrices d'accidents d'automobile.

Nous verrons plus loin que dans notre protocole expérimental nous avons emprunté des éléments à la méthode expérimentale des conditionnements complexes.

II - LES METHODES D'EXAMEN PENDANT LE TRAVAIL

Au cours du chapitre précédent, nous avons étudié différents tests dont certains paraissent avoir une grande valeur pour apprécier la fatigue nerveuse. Cependant, il paraît très difficile d'évaluer la vigilance, l'état d'éveil du système nerveux central grâce à ces tests qui interrompent nécessairement le travail, ce qui constitue une violente perturbation de l'état de veille.

Les méthodes d'examen que nous allons étudier peuvent être utilisées au cours du travail lui-même ou au cours d'expériences qui reconstituent le travail en laboratoire. Elles permettent donc d'évaluer ce qui se passe dans le domaine de la vigilance sans perturbation par l'examen lui-même. Nous étudierons successivement :

A - L'électroencéphalographie

B - L'électrodermographie

C - L'oculographie

D - Les méthodes d'observation du comportement.

A - L'ELECTROENCEPHALOGRAPHIE

1° - Généralités sur l'électroencéphalographie

En 1929, HANS BERGER publiait le premier travail sur l'enregistrement de l'activité éléctrique du cerveau. Trente ans plus tard, l'électroencéphalographie appartient à la pratique médicale courante, tout au moins hospitalière et tend à être utilisée dans de nombreux domaines de la recherche.

Rappelons quelques notions sommaires sur l'activité électrique cérébrale telle qu'elle apparaît à l'enregistrement EEG.

La première constatation essentielle est que le tracé enregistré n'est pas uniforme pour un sujet normal, l'allure de ce tracé dépend du niveau de vigilance du sujet. Pour un sujet au repos, éveillé et placé en dehors de toute stimulation, on enregistre un tracé d'un certain type = le tracé alpha ou rythme de Berger caractérisé par deux paramètres = l'amplitude et la fréquence dont les valeurs moyennes sont respectivement 50 microvolts et 8 à 12 cycles par seconde.

Il suffitqu'une stimulation sensorielle quelconque intervienne pour que le tracé soit modifié. On obtient alors un tracé béta caractérisé par une plus grande fréquence 25 à 30 c/s et une amplitude plus faible 15 à 20 µv. En dehors de toute stimulation sensorielle ou cutanée, il suffit de demander au sujet de concentrer son attention sur un problème ou de faire un effort de mémoire pour qu'apparaisse immédiatement le tracé béta.

Le passage des ondes alpha aux ondes béta est appelé quelquefois réaction d'arrêt ou encore blocage de l'alpha (fig. III-1).

Le sommeil entraîne d'autres modifications du tracé : ralentissement du rythme , augmentation d'amplitude des ondes. On obtient alors le type delta = 5 à 10 c/s et 150 à 200 µv.

Les différents stades de la veille et du sommeil ont pu ainsi être étudié :

- Lors de l'assoupissement on observe sur le tracé des interruptions temporaires des ondes alpha, une légère diminution de leur amplitude et l'apparition de spindles.

- Le sommeil léger est marqué par l'apparition de quelques bouffées d'ondes alpha sur un fond d'ondes delta.

- Quand le sommeil est plus profond, les bouffées d'alpha disparaissent et en sommeil profond, les ondes delta ont une fréquence de 5 à 0,5 c/s et une amplitude de 200 µv.

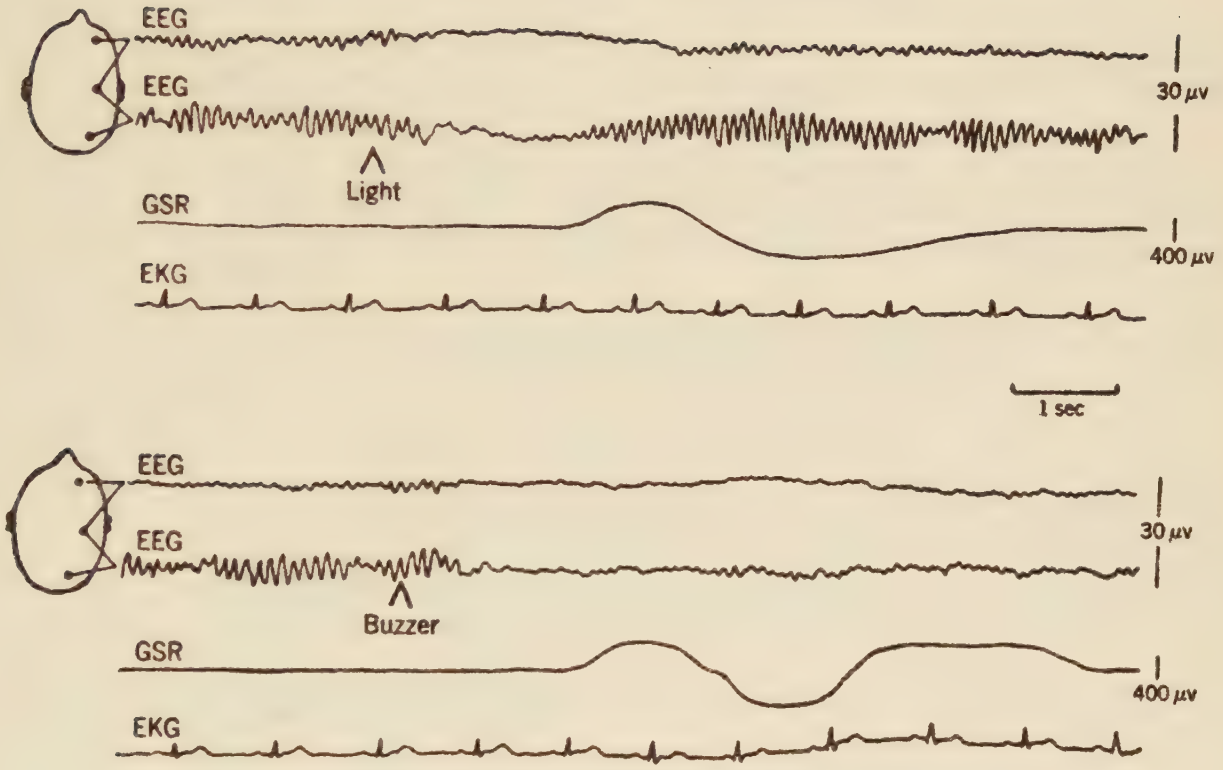


Fig. III.1. Effet de stimuli lumineux et sonore sur l'EEG, l'électrodermogramme (GSR) et l'électrocardiogramme (EKG) d'après Lindsley

En conclusion la vigilance est caractérisée par le rythme alpha et le sommeil par le rythme delta. A tous les états intermédiaires on a pu décrire un rythme correspondant (JASPER 1941) et établir des corrélations entre le tracé électrique d'une part, le degré de vigilance, le comportement psychique ou moteur, d'autre part. Le tableau de LINDSLEY (tableau III-1) résume ces corrélations. Il semble toutefois que les généralisations doivent être prudentes. De nombreux auteurs tentent, depuis quelques années, de systématiser ces corrélations en étudiant des populations de sujets plus nombreuses. Ces études n'en sont qu'à leur début.

2° - Quelques données nouvelles sur le rythme alpha

D'un sujet à l'autre, la fréquence des rythmes de veille et de sommeil varie et l'on ne peut comparer que les tracés d'un même sujet se trouvant à différents niveaux de vigilance.

Les résultats qui sont présentés portent sur des populations importantes de sujets ; elles montrent que, compte tenu de certaines limites de variations, une systématisation des tracés peut être entreprise.

GASTAUT en 1955 présentait les conclusions de trois séries de recherches portant sur trois populations différentes.

Nous en retirons les faits suivants :

- le tracé normal par excellence est caractérisé par un rythme alpha à 9 - 10 c/s. Il se rencontre "chez 61 % des jeunes adultes moyens et si parmi eux on élimine ceux qui présentent des tendances à l'anxiété, l'hyperémotivité et l'arriération affective, la proportion de tracés de ce type atteint dans notre série 100 %".

- dans la grande majorité des cas, le tracé alpha est de forme sinusoïdale : 95 % des cas.

- la totalité des rythmes alpha réagit à l'ouverture des yeux.

Ces résultats ne sont sans doute pas définitifs ; des études statistiques plus larges peuvent les préciser, ils indiquent déjà la possibilité de certaines systématisations nécessaires à une interprétation facile des tracés EEG.

Par ailleurs, ARMINGTON et MITNICK étudient les variations des tracés EEG en fonction d'une privation de sommeil. Le filtrage en fréquence de leurs tracés leur permet d'enregistrer électriquement la densité du rythme alpha sur les tracés. Les auteurs comparent alors la richesse en rythme alpha avant, pendant et après une période de privation de sommeil de 98 heures. Ils utilisent cinq situations expérimentales :

1° - rester au repos les yeux fermés,
2° - rester au repos les yeux ouverts,
3° - compter jusqu'à dix à haute voix les yeux fermés,
4° - calculer mentalement les yeux ouverts,
5° - calculer mentalement les yeux fermés.

EEG	VIGILANCE	COMPORTEMENT PSYCHIQUE	COMPORTEMENT MOTEUR
α régulier (10 cycles par seconde, 50 microvolts).	Attention relâchée.	Détente psychique mais éveil.	Assez bon; principalement automatique.
Désynchronisation partielle de l'α (tendance à l'apparition de β), (20 à 30 cycles/sec., 5 à 10 mv.).	Attention élective, peut varier selon les stimulation de l'environnement.	Véritable état d'attention.	Bon comportement moteur, rapide, sélectif, efficace et bien organisé.
Désynchronisation totale de l'α (β pur) + apparition de bouffées brèves de *theta* (de 4 à 7 c/s., 50 mv.).	Attention partagée diffuse avec possibilité de confusion dans les perceptions de l'environnement.	Excitation violente, émotion (rage), anxiété.	Pauvre, insuffisamment contrôlé (parfois même désorganisé).
Dépression de l'α, ondes lentes, plus amples de temps en temps.	Vigilance réduite diffuse (rêverie).	Somnolence.	Très pauvre, assez incoordonné et sporadique.
Disparition totale de l'α, ondes lentes β par fuseaux périodiques.	Perte de conscience, rêve.	Sommeil léger.	Absent.
Ondes δ lentes et amples.	Perte de conscience, sans rêve.	Sommeil profond.	Absent.
Oscillations lentes dites de « base ».	Perte totale de conscience et des réponses aux stimulations.	Coma.	Absent.

Tabl. III.1. Corrélations entre EEG, degré de vigilance et comportement d'après Lindsley

La figure III-2 résume les résultats principaux de cette étude. L'effet de la privation de sommeil s'observe très nettement en condition d'yeux fermés. Pendant la période de contrôle précédant la privation de sommeil, les rythmes alpha se maintiennent à un niveau à peu près constan Après 24 h. sans sommeil, il existe une chute importante, très significative (P = .01) de la richesse en alpha et cette chute continue de façon on peut dire linéaire à mesure que la privation de sommeil se prolonge.

Par contre, avec les yeux ouverts aucune variation significative n'est observée dans l'activité EEG. La vitesse de récupération d'un tracé normal est un autre fait important. La période d'éveil forcé étant terminée, après 9 h. de sommeil le tracé se rapproche de la normale, pourtant à la 12ème heure la différence avec le tracé normal est encore significative.

Ces résultats confirment donc la différence essentielle existant entre les tracés enregistrés avec les yeux ouverts ou fermés. Ils suggèrent de plus, que le tracé occipital riche en alpha accompagne un degré moyen d'effort ou d'éveil (rester au repos ou compter jusqu'à dix) et qu'une moindre richesse en alpha pourrait indiquer soit un haut niveau d'activité (calcul mental) sans doute par accélération du tracé, soit un bas niveau d'activité avec une tendance au sommeil.

Les auteurs interprètent la pauvreté en rythmes alpha comme étant une conséquence de l'assoupissement ou du moins d'une baisse de vigilance. L'apparition de spindles sur les tracés confirme cette interprétation ; ils ne trouvent pas d'ondes delta de sommeil. COLEMAN et Collaborateurs (1958) présentent l'amplitude de EEG comme une évaluation du sommeil. Ils observent une corrélation positive significative entre cette amplitude et le temps de réaction et une corrélation négative entre l'amplitude de l'EEG et la durée des périodes pendant lesquelles aucune activation motrice importante ne survient. Une très légère corrélation négative existerait entre l'amplitude EEG et le rythme cardiaque.

Les mêmes recherches ont été poursuivies avec la fréquence de certaines composantes de l'EEG. Il existerait également une certaine corrélation.

3° - L'électroencéphalographie dans les conditions de travail

Si l'intérêt de l'EEG apparaît évident pour l'étude des niveaux de vigilance chez un sujet installé dans le fauteuil d'examen, immobile, les yeux fermés, il a semblé que cette technique présentait des difficultés insurmontables d'utilisation et d'interprétation dans les conditions du travail normal. Il est possible de grouper sous 3 rubriques les difficultés rencontrées :

a - Mobilité des électrodes

b - Encombrement du système d'amplification et d'enregistrement

c - Difficulté d'interprétation du tracé, les yeux étant ouverts.

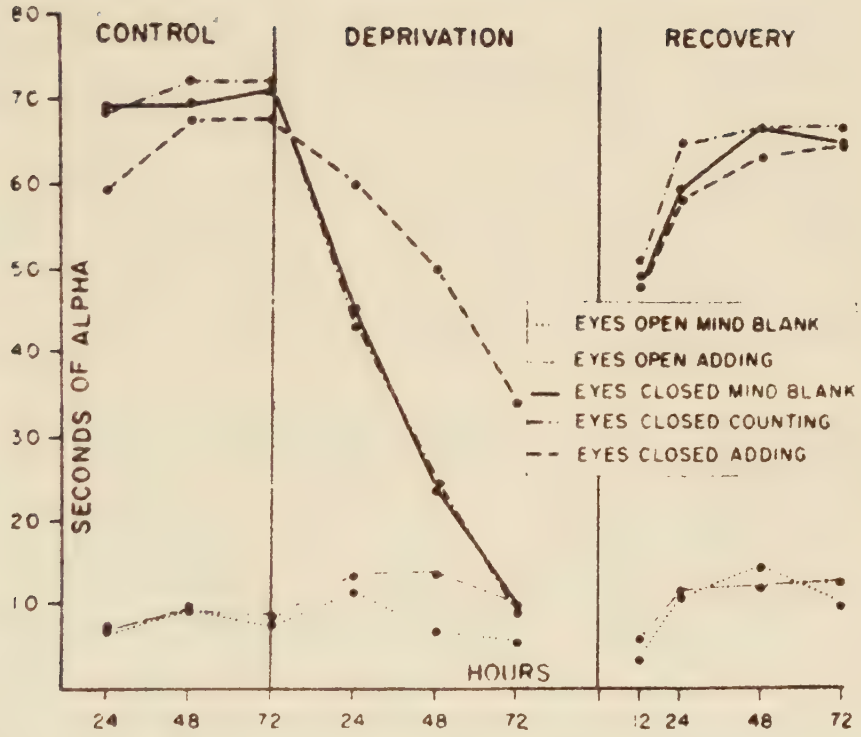


Fig. III. 2. Densité moyenne des rythmes alpha enregistrée en fonction du temps avant, pendant et après la privation de sommeil.

d'après Armington et Mitnick

Mobilité des électrodes - On sait toutes les difficultés que l'on rencontre en EEG clinique dès qu'un malade indocile bouge et détermine des déplacements des électrodes classiques. Cependant, certaines précautions peuvent être prises : on fixe chaque électrode sur le cuir chevelu par une gaze imprégnée de collodion, on réunit les fils en une tresse s'échappant derrière le cou, on protège l'ensemble en plaçant sur la tête un vrai casque (d'aviateur par exemple). Il faut en outre prendre soin de mettre le sujet à la terre. (SARNOFF C-A, HABERER C-E).

Encombrement des amplificateurs et enregistreurs - Pour obtenir un enregistrement graphique convenable, il est nécessaire d'amplifier considérablement les faibles variations de potentiels recueillies entre 2 électrodes du scalp. Il est parfois impossible de placer dans le véhicule qu'utilise le sujet, un équipement suffisant. Dans d'autres cas, la connexion directe par des fils entre le sujet et l'enregistreur est mal commode. Il est actuellement possible de fixer sur le sujet un amplificateur et un émetteur de radio miniaturisés et pesant un poids négligeable. A faible distance (2 à 3 m) en atelier ou en laboratoire, ou à grande distance (20 à 30 km en cas de vol d'avion) ou à distance énorme (vol cosmique), il est possible de recueillir, d'amplifier et d'enregistrer les signaux ainsi émis. Pour donner une idée de l'extrême souplesse de cette technique, citons le dispositif de GOLD D-C et PERKINS W-S. Une électrode est fixée sur le crâne d'un chat, un amplificateur et un émetteur sont utilisés, si petits qu'ils sont portés aisément sur le dos du chat qui reste libre de ses mouvements et dont on peut étudier le comportement sur un laps de temps prolongé.

Difficulté d'interprétation des tracés, les yeux étant ouverts - La description classique des divers aspects du tracé EEG en fonction des degrés de vigilance est valable pour un sujet qui garde les yeux fermés. Quand on possède des tracés recueillis les yeux ouverts et qui, de plus est en pleine activité, il paraît nécessaire de faciliter l'interprétation par l'analyse automatique des tracés EEG. Dans ce but, l'EEG est enregistré sur bande magnétique ultérieurement ou simultanément, le tracé peut être analysé en fréquence et l'on étudie les variations du spectre de fréquences en fonction de l'état de vigilance. Quand les perturbations que subit le sujet sont considérables, il n'est pas indispensable de recourir à ces méthodes d'analyse complexe. SEM JACOBSEN a trouvé sur les tracés EEG de pilotes d'avions de chasse des perturbations très importante que l'on a pu rapprocher des pertes de conscience passagères, objectivées par des prises de vues simultanées du pilote. Cela a permis d'expliquer certains accidents dont on ne peut autrement saisir l'origine.

4° - Conclusion

L'accroissement des connaissances en électroencéphalographie, le progrès des techniques d'enregistrement, d'amplification et d'analyse, font des techniques électroencéphalographiques un procédé d'investigation privilégiée de l'homme en situation de travail. Toutefois, certaines utilisations spectaculaires de ces techniques ne doivent pas faire oublier que certaines interprétations restent encore bien difficiles et qu'en particulier les recherches de corrélations électropsychologiques n'ont pas encore donné de résultats très satisfaisants. En ce qui concerne les états de vigilance, nous pourrions reprendre une conclusion de Lairy et Dell (1955) "Les différents niveaux de vigilance, codifiés d'après la

forme de leur contexte électrique cortical, ne réfléchissent donc qu'un aspect en quelque sorte global du comportement. L'étude, actuellement embryonnaire des relations entre l'activité électrique globale de fond et les mécanismes corticaux spécifiques, constituera une nouvelle étape vers la compréhension de la signification psychologique des activités corticales".

B - L'ELECTRODERMOGRAPHIE (E.D.G.)

Il existe entre 2 points de la peau d'un homme une différence de potentiel qui varie en fonction de l'état émotionnel et de l'état de veille du sujet.

1° - Appareil

L'appareil psychogalvanomètre est un simple pont de Wheatstone dont deux points du circuit sont en contact avec deux parties de la peau du sujet par l'intermédiaire d'une solution ionisée. La tension recueillie étant de l'ordre du millivolt, il est nécessaire de l'amplifier pour pouvoir réaliser l'enregistrement graphique. Par cette méthode dite de Tarchanoff, on ne fait que mesurer les variations des caractéristiques électriques de la peau. Dans la méthode de Féré qui est peu utilisée, on fait passer un courant de faible intensité entre deux points de la peau du sujet et on note les variations de la résistance cutanée en fonction des stimulations.

2° - Lecture des tracés

Il existe 2 types de variation de tension que l'on peut observer sur les tracés électrodermographiques (E.D.G.) : les réactions rapides et les réactions lentes.

Les réactions rapides - En réponse à des stimuli variés (classiquement doués d'une valeur affective), il se produit quelques oscillations à fréquence plus élevée et grande amplitude. La durée totale de la perturbation est de l'ordre de la seconde. Quand la stimulation n'a pas de valeur affective, il n'y a habituellement aucune anomalie du tracé : ce sont les réactions psychogalvaniques.

Les variations lentes - Alors que les réflexes spychogalvaniques sont connus depuis longtemps, l'étude des réactions lentes est plus récente car les variations lentes sont difficiles à distinguer de la dérive du tracé due à l'appareillage.

Les variations lentes du tracé ont des périodes très longues (1 heure, 24 heures, plusieurs jours). Il semble établi que la résistance cutanée s'élève à l'endormissement et diminue au réveil. Toute mise en éveil de l'organisme, tout état d'alerte et d'attention se traduit par une baisse du niveau de résistance

3° - Explication du phénomène

Les changements de l'état électrique de la peau sont liés à l'activité des glandes sudoripares. Ces glandes sont innervées par le système nerveux autonome ou végétatif. Le système nerveux végétatif est lui-même sous le contrôle du système réticulé (DELL, BONVALLET, HUGELIN) et il est impossible "de maintenir une opposition entre le système de la vie végétative et de la vie de relation au niveau du système nerveux central" (HUGELIN 1955). Cette conclusion peut servir d'explication physiologique aux corrélations électrophysiologiques trouvées par plusieurs auteurs entre l'activité électrique cérébrale et la résistance électrique de la peau.

En réponse à une stimulation à caractère émotif, FAURE (1951) peut noter simultanément le blocage de rythme alpha à l'EEG et une diminution de la résistance de la peau.

Les tracés obtenus par LINDSLEY (Fig. III-1) illustrent bien l'existence de telles corrélations. La différence de latence entre les 2 phénomènes est très caractéristique. sur ces tracés.

- 0,4 seconde de latence pour le blocage de l'alpha,
- 1 à 1,5 seconde pour la réponse électrodermale.

Ces résultats soulignent le caractère central de l'activité enregistrée par les techniques électrodermographiques.

BURCH et GREINER (1958) étudient les variations des réponses électrodermales rapides, qu'ils appellent "spécifiques", à des chocs électriques pendant une période très prolongée (56 heures).

La figure III-5 montre que ces réponses disparaissent pendant la nuit et que leur amplitude diminue considérablement à mesure que l'épreuve continue. Les variations lentes du tracé, dites "non spécifiques" par les auteurs, qui seraient en rapport étroit avec le degré de vigilance sont influencées par certaines drogues. Cortisone et amphétamine augmentent le niveau de réactivité des sujets (fig. III-6)

Il faut noter, par ailleurs, que les variations des réponses électrodermales rapides aux stimuli spécifiques, ne sont pas obligatoirement parallèles aux vérifications lentes de la résistance cutanée (non spécifiques).

Le tracé de contrôle montre en particulier une image en miroir caractéristique (tracé sous placebo). Le niveau d'éveil central diminue considérablement alors que les réponses rapides aux stimuli augmentent l'amplitude. Par contre, avec la cortisone et l'amphétamine, le niveau d'activatio centrale se maintient alors que les réponses électrodermales spécifiques montrent une chute légère.

Les auteurs discutent ces résultats en terme de fatigue. Ils pensent que ces études électrophysiologiques suggèrent une base à l'interprétation psychophysiologique de la fatigue considérée comme une altération du niveau de vigilance.

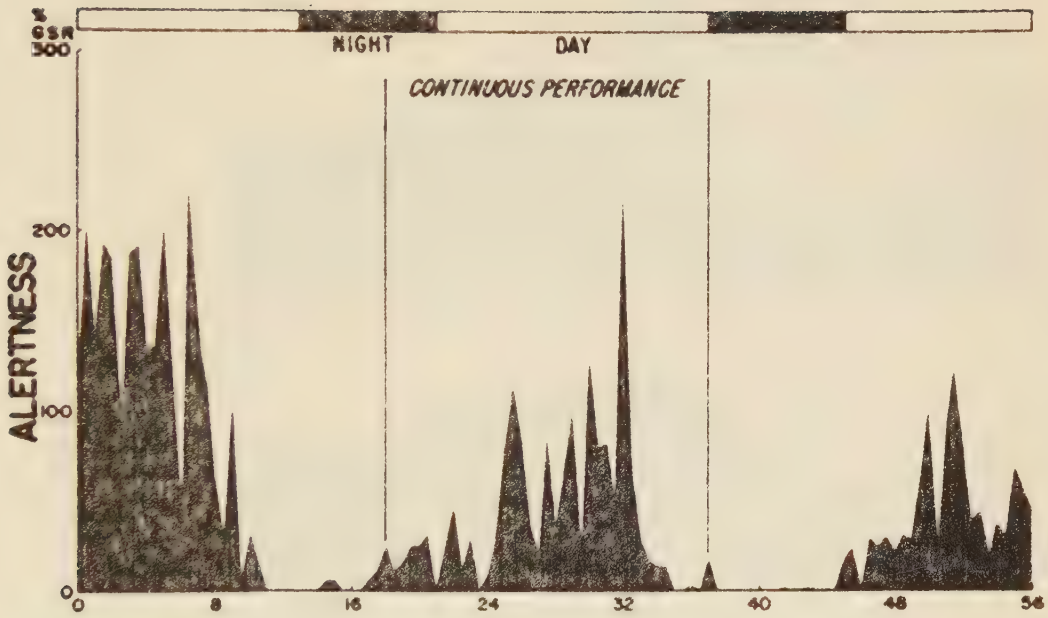


Fig. III. 5. Réponse EDG "spécifique" représentée comme une évaluation de la vigilance de 3 sujets isolés séparément pendant 3 jours et deux nuits

d'après Burch et Greinder

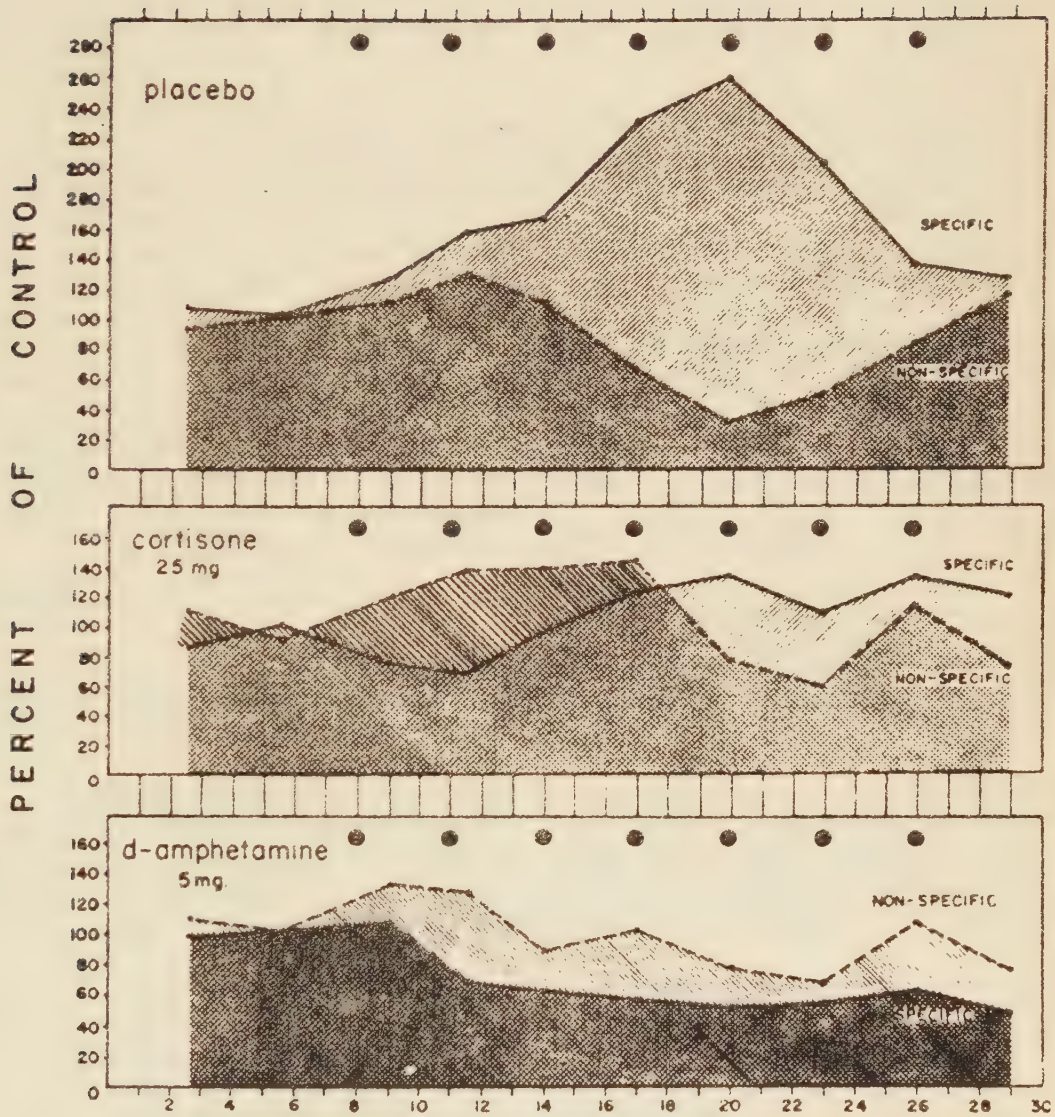


Fig. III. 6. Effets de certaines drogues sur les réponses EDG "spécifiques" et "non-spécifiques" au cours d'une veille prolongée (doses orales répétées toutes les 3 heures)

d'après Burch et Greiner

4° - E.D.G. et vigilance

Nous avons vu que l'E.D.G. peut se réduire au cours du sommeil à une simple ligne droite. Le réveil progressif s'accompagne d'une série d'ondes de grande amplitude. (Fig. III.3 et III.4)

De nombreux arguments pharmacologiques ou physiologiques plaident en faveur de l'E.D.G. comme moyen d'étude de la vigilance, cependant l'étude de l'E.D.G. n'est pas encore assez poussée pour ne pas donner des déboires dans le cas particulier qui nous occupe, si on voulait l'utiliser seule.

Il nous paraît, par contre, très souhaitable de pratiquer l'E.D.G. comme examen associé. Elle peut être utilisée en association avec l'électroencéphalographie comme cela a déjà été fait en aviation au cours d'essais en vol. L'E.D.G. peut de façon plus fructueuse encore être utilisée avec ou sans l'électroencéphalographie au cours des expériences de vigilance que nous proposons à la fin de cette étude.

L'électroencéphalographie et l'électrodermographie sont certainement susceptibles d'apporter des renseignements précieux sur l'état de la vigilance. Encore faut-il mettre en corrélation précise les tracés obtenus avec un témoignage objectif de la vigilance dans l'action. Nous avons vu que les tests qui interrompent l'action ne sont pas utilisables. Par contre, certaines méthodes d'étude du comportement permettent de lier la situation de travail et le test de vigilance.

C - L'OCULOGRAPHIE

Les techniques oculographiques d'enregistrement des mouvements des yeux et des paupières sont utilisées parfois comme moyen d'étude du comportement au cours des tâches visuelles ou visuomotrices.

L'enregistrement des mouvements oculaires trouve son application principale dans l'analyse de l'exploration visuelle. Des descriptions d'une précision et d'une élégance remarquables ont pu ainsi être données, du comportement des yeux au cours de la lecture chez l'homme normal et pathologique (REMOND et GABERSEK 1956), (REMOND, GABERSEK et LESEVRE 1956 - 1957 - 1958).

Le clignement des paupières a fait également l'objet de nombreuses recherches :

- description du clignement élémentaire,
- étude des variations chez un même sujet,
- étude des variations inter-individuelles.

Les variations de la fréquence du clignement sous l'influence de différents facteurs internes ou externes suggéraient la possibilité d'utiliser la fréquence de clignement comme test de comportement.

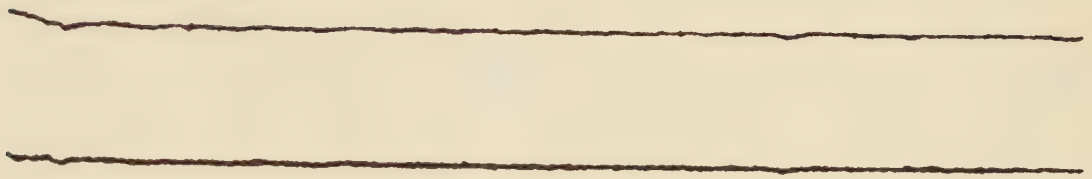


Fig. 3 (haut)

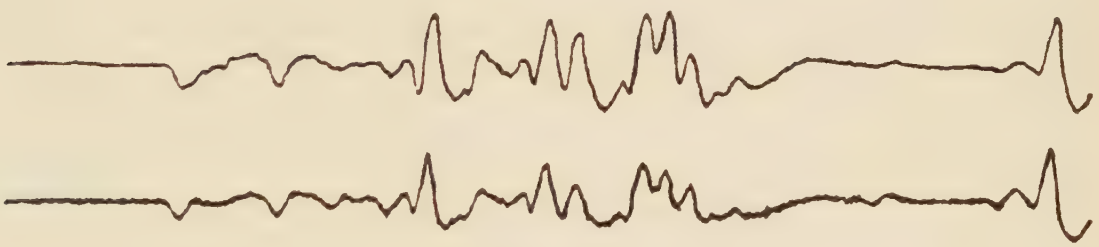


Fig. 2. (bas)

Fig. III.3. Enregistrement obtenu sur les deux paumes des mains. Tracé du haut : le sujet est assoupi. Tracé du bas : le sujet se réveille.

d'après Bloch.

Fig. III. 4. Tracé du haut : le sujet est en conversation animée avec l'expérimentateur (tension affective). Tracé du bas : le sujet est relaxé (pas de tension affective). D'après Bloch et Paillard

1 - Techniques utilisées

De nombreuses techniques peuvent être utilisées : cinématographique, photographiqueet plus récemment électromyographique.

a - Cinématographie

L'enregistrement cinématographique du comportement visuel du sujet en fonction de différents stimuli est une méthode simple mais qui ne permet guère que le comptage des clignements de paupières. Ce procédé est trop grossier pour l'étude des mouvements oculaires.

b - Photographie

Ce procédé suppose un petit montage optique. Des petits miroirs peuvent être fixés sur la cornée ou les paupières et réfléchir un faisceau lumineux. Le faisceau réfléchi est reçu sur une bande de papier photographique animée d'un mouvement continu.

MACKWORTH et MACKWORTH (1958) utilisent des techniques de télévision pour étudier les mouvements oculaires au cours de l'observation de scènes animées, donc continuellement changeantes. Une caméra de télévision recueille un faisceau lumineux provenant d'une source ponctuelle réfléchi sur un miroir cornéen. Le mouvement du spot lumineux est amplifié environ une centaine de fois. La scène observée par le sujet est filmée par une 2ème caméra de télévision et les deux images obtenues, celle du spot et celle de la scène observée, sont enfin superposées sur un écran de télévision.

L'erreur dans la précision de la superposition obtenue serait de l'ordre de 1 à 2°. Ces techniques sont sans doute irremplaçables pour étudier de façon précise et dynamique, la façon dont un sujet prend connaissance d'une image complexe et animée, donc fugitive.

c - Electromyographie

Pour l'enregistrement des mouvements oculaires REMOND et GABERSEK utilisent des électrodes classiques d'EEG (Ag - Ag cl) fixées sur des montures de lunettes créées pour ce besoin. Les dérivations horizontales et verticales qu'il est possible d'obtenir directement à partir des quatre électrodes du dispositif fournissent des réflexions notables et variables selon l'importance et la direction des déplacements du regard.

Par l'enregistrement des modifications du champ électrique de la face contemporaine des mouvements des yeux, les auteurs ont pu faire pour la lecture, les études que les MACKWORTH réalisent par les techniques de télévision. La structuration précise d'un texte permet, à postériori, de faire correspondre l'enregistrement électrique au texte lu par le sujet. Mais, l'utilisation de cette méthode est surtout possible avec des objets fixes, permanents, comme des planches composées de texte ou de dessins, pour pouvoir en un deuxième temps après l'expérience, établir la correspondance objet observé et tracé (Fig. III.7).

Fig III. 7. Fragment d'oculogramme correspondant au déplacement du regard le long du pourtour d'un rectangle.

Deux dérivations : (1) : transoculaire verticale ; (2) : transtemporale. Entre l'ouverture des yeux (Y.O.) et la fermeture des yeux (Y.F.) on reconnait une série de déflexions, survenant alternativement dans chaque dérivation, et dont chaque période successive présente une polarité différente.

d'après Rémond et Gabersek

2 - Résultats

a - Clignement des paupières

Les méthodes photographiques ont donné les images les plus précises, les plus détaillées, du clignement élémentaire. L'amplitude et la durée du déplacement des paupières sont bien déterminées ; il en est de même pour la durée relative des 2 composantes du clignement ; ainsi la fermeture des paupières est beaucoup plus rapide que leur ouverture (GORDON 1951).

Pour établir la fréquence du clignement au cours d'une tâche déterminée, la technique d'enregistrement des potentiels de l'orbiculaire est plus satisfaisante car elle peut se faire dans n'importe quelles conditions d'expérience ou de travail.

Intérêt de l'étude des clignements au cours d'une épreuve de vigilance

Des résultats présentés par DREW en 1951 sont, à cet égard, très intéressants.

La fréquence du clignement diminue quand le nombre des stimuli et la difficulté de la tâche augmentent.

Par ailleurs, LUCKIESH et MOSS considèrent l'augmentation de la fréquence de clignement comme un critère de fatigue au cours de tâches visuelles prolongées. Des résultats de CARMICHAEL et DEARBORN confirmeraient cette thèse selon une interprétation personnelle de POULTON (1958).

Il en est de même des résultats publiés tout récemment par EVRARD (1959.) Ils établissent que le nombre de clignements augmente avec la durée de la tâche même en attention concentrée (l'auteur cependant n'a expérimenté que sur de courtes durées). Le nombre de clignements est plus élevé chez les sujets montrant une fluctuation considérable de l'attention. L'auteur s'accorde avec POULTON et GREGORY pour penser que le clignement serait un signe de vigilance réduite.

b - Mouvements des yeux

Les travaux de REMOND et GABERSEK, sur l'étude de la lecture, schématisent bien les possibilités d'utilisation des données électrographiques : le déplacement du regard devant un texte permet d'établir plusieurs courbes :

- temps de lecture par ligne,
- nombre de stations par ligne,
- moyenne par ligne du nombre et des amplitudes des différents mouvements : retour à la ligne, rectification, progression, vérification,
- moyenne par ligne de la durée des stations des différentes catégories,
- carte des positions du regard au cours de la lecture du texte pour les différentes stations.

2 - Résultats

a - Clignement des paupières

Les méthodes photographiques ont donné les images les plus précises, les plus détaillées, du clignement élémentaire. L'amplitude et la durée du déplacement des paupières sont bien déterminées ; il en est de même pour la durée relative des 2 composantes du clignement ; ainsi la fermeture des paupières est beaucoup plus rapide que leur ouverture (GORDON 1951).

Pour établir la fréquence du clignement au cours d'une tâche déterminée, la technique d'enregistrement des potentiels de l'orbiculaire est plus satisfaisante car elle peut se faire dans n'importe quelles conditions d'expérience ou de travail.

Intérêt de l'étude des clignements au cours d'une épreuve de vigilance

Des résultats présentés par DREW en 1951 sont, à cet égard, très intéressants.

La fréquence du clignement diminue quand le nombre des stimuli et la difficulté de la tâche augmentent.

Par ailleurs, LUCKIESH et MOSS considèrent l'augmentation de la fréquence de clignement comme un critère de fatigue au cours de tâches visuelles prolongées. Des résultats de CARMICHAEL et DEARBORN confirmeraient cette thèse selon une interprétation personnelle de POULTON (1958).

Il en est de même des résultats publiés tout récemment par EVRARD (1959.) Ils établissent que le nombre de clignements augmente avec la durée de la tâche même en attention concentrée (l'auteur cependant n'a expérimenté que sur de courtes durées). Le nombre de clignements est plus élevé chez les sujets montrant une fluctuation considérable de l'attention. L'auteur s'accorde avec POULTON et GREGORY pour penser que le clignement serait un signe de vigilance réduite.

b - Mouvements des yeux

Les travaux de REMOND et GABERSEK, sur l'étude de la lecture, schématisent bien les possibilités d'utilisation des données électrographiques : le déplacement du regard devant un texte permet d'établir plusieurs courbes :

- temps de lecture par ligne,
- nombre de stations par ligne,
- moyenne par ligne du nombre et des amplitudes des différents mouvements : retour à la ligne, rectification, progression, vérification,
- moyenne par ligne de la durée des stations des différentes catégories,
- carte des positions du regard au cours de la lecture du texte pour les différentes stations.

Intérêt de l'étude des mouvements oculaires au cours d'épreuve de vigilance.

Nous manquons d'information pour l'utilisation de l'enregistrement des mouvements des yeux au cours de tâches prolongées.

CLARK et WARREN (1940) trouvent que des modifications se produisent au cours d'épreuves de lecture pendant une période de veille prolongée 65 heures. Ces modifications sont temporaires, sporadiques, comparables à la survenue de blocages au cours de certains tests de performance. Elles apparaissent approximativement après 40 heures de veille.

La vitesse du retour à la ligne diminue, pour certains sujets, et le temps passé peut être 9 fois, voire 19 fois le temps passé moyen. Les plus grandes anomalies du tracé furent relevées chez un sujet qui devait s'endormir pendant l'épreuve. Le mouvement saccadé de retour à la ligne était remplacé par un lent mouvement continu à travers la page. La vitesse du mouvement de retour à la ligne était, de plus, différente pour les deux yeux. Ces quelques résultats soulignent l'intérêt que pourrait présenter l'étude des mouvements des yeux au cours de tâches de vigilance pour objectiver, en particulier, les défaillances susceptibles de se produire et préciser leur nature.

3 - Conclusions

L'enregistrement des clignements des paupières et des mouvements des yeux nous semble présenter un intérêt particulier dans l'étude du comportement en situation de vigilance visuelle. Ces techniques sont plus ou moins simples, les méthodes électrographiques semblent les plus maniables ; toutes présentent l'avantage d'une lecture objective, d'interprétation facile, ce qui n'est pas toujours réalisé avec des enregistrements du type EEG.

D - L'ETUDE DU COMPORTEMENT PAR EVALUATION DE LA PERFORMANCE

Nous avons souligné la difficulté d'utiliser les tests de fatigue nerveuse pour l'étude de la vigilance : leur passation nécessite l'arrêt du travail, or il faut précisément éviter cet arrêt pour pouvoir juger de l'évolution de l'état vigile au cours du travail prolongé.

Par contre, les méthodes d'enregistrement bioélectrique peuvent être de bons moyens d'études de la vigilance au cours même du travail. De même, certaines méthodes d'étude du comportement, en reconstituant une situation où la monotonie entraîne la dégradation de la performance, vont nous apparaître comme la possibilité d'une approche scientifique des problèmes de baisse de vigilance.

Position du problème

Considérons un sujet assis en face d'un écran noir sur lequel apparaissent des taches lumineuses. Les taches lumineuses sont faciles à voir. Le sujet bien éveillé et qui vient de commencer le travail de détection va répondre sans omission à tous les signaux lumineux.

Si, au contraire, le sujet fatigué et placé dans l'obscurité s'endort, nous aurons défini ainsi deux états d'éveil et de sommeil qui sont les caractéristiques extrêmes de la vigilance. Si la tâche de détection est suffisamment difficile et donc l'épreuve assez sensible, le nombre d'omissions dans les réponses aux signaux permettrait d'évaluer le niveau de vigilance.

Nous pouvons donc par un dispositif convenable caractériser le niveau de vigilance. Cependant, d'un sujet à l'autre, la valeur absolue du niveau varie beaucoup et il est plus intéressant d'étudier les fluctuations de la vigilance au cours du temps. Nous verrons que les fluctuations de la vigilance se font dans le sens de la dégradation et ont un caractère très général.

Pour représenter ce phénomène par un modèle, nous pouvons considérer que les capteurs (les yeux) reçoivent des signaux (les taches lumineuses). L'information parvient du cerveau dans lequel existe un certain niveau d'activité, ou bruit de fond. Si la vigilance est élevée et des signaux forts, le rapport signal/bruit est assez élevé pour déclencher une réponse motrice (le sujet appuie sur un bouton). Si la vigilance est basse et les signaux faibles, le rapport signal/bruit est trop bas pour déclencher une réponse motrice : il y a omission. On voit donc que le taux d'omissions ne peut être interprété sans précautions car il renseigne sur le niveau de vigilance, mais aussi sur la visibilité des signaux. Il s'agit là d'un problème général de mesure : les caractéristiques du capteur influent sur la transmission du signal à la chaîne d'appareils. L'analyse statistique permet de résoudre ce problème.

Si les expériences que nous présentons maintenant donnent effectivement des renseignements sur le comportement humain en rapport avec la vigilance, nous ne possédons pas pour autant de renseignements sur les mécanismes neurophysiologiques qui sont ainsi mis en jeu. Les recherches neurophysiologiques ont un grand intérêt théorique pour expliquer les phénomènes, mais elles ne peuvent nous aider directement à améliorer les conditions qui engendrent la perte de vigilance. Au contraire, notre dispositif expérimental permettra de connaître quels facteurs peuvent influer sur la vigilance, quelles améliorations on peut apporter aux automobiles ou aux situations de travail, pour diminuer les accidents.

E - CONCLUSIONS

Nous avons présenté les méthodes bioélectriques (électroencéphalographie - électrodermographie et oculographie) comme de bons moyens d'étude du comportement. Dans les situations de vigilance visuelle que nous étudions, ces méthodes devraient permettre l'établissement d'intéressantes corrélations entre, d'une part les modifications observées sur les tracés bioélectriques et, d'autre part les résultats obtenus par l'étude directe du comportement évalué par l'évolution de la performance.

QUATRIEME PARTIE

REVUE GENERALE DE LA LITTERATURE :

L'EXPERIMENTATION PSYCHOPHYSIOLOGIQUE

EN SITUATION DE VIGILANCE

I - LES EXPERIENCES DE VIGILANCE DE MACKWORTH

Les expériences sur la vigilance réalisée par M. N. Mackworth et les membres de l'Applied Psychology Research Unit de Cambridge sont fondamentales pour l'étude des baisses de l'attention dans un travail monotone. Ces études furent provoquées pendant la guerre par la difficulté de lecture des tableaux de bord des avions, des écrans de radar, les erreurs à l'écoute prolongée de l'asdic. Nous allons décrire successivement les trois dispositifs expérimentaux principaux : le clock test (test de l'horloge), le test du radar et le main listening test (test de vigilance auditive). Les trois dispositifs explorent la vigilance du sujet en présentant des signaux discrets, espacés au cours d'un examen prolongé qui constitue le travail lui-même. Le but est en somme de répondre à la question que M. Mackworth se posait lui-même : "Pourquoi des gens en viennent-ils à manquer de réagir à une faible lumière, à un faible bruit ou à de petites déviations dans la position d'un index (sur un cadran par exemple) alors qu'ils sont normalement (c'est-à-dire physiologiquement) capables de les découvrir".

A) - Le clock test ou test de l'horloge :

Le sujet est installé seul devant un cadran blanc sans repère devant lequel se déplace une longue aiguille noire (15 cm de long). L'aiguille se déplace par bond d'un angle de 4 grades toutes les secondes. Parfois elle se déplace d'un angle de 8 grades. Cet accident est rare et sans périodicité. Le sujet doit dans ce cas appuyer sur une clé de contact. Il sait que l'expérience totale dure 2 heures. L'incident se présente 12 fois en 20 minutes et ce programme se répète identique chaque demi-heure. Les principales conclusions de cette expérience sont les suivantes :

1) Le sujet laisse échapper beaucoup plus de signaux après $\frac{1}{2}$ heure de veille.

2) On peut éviter cette baisse des résultats en faisant alterner $\frac{1}{2}$ heure de veille et $\frac{1}{2}$ heure d'un tout autre travail. Des alternances d'une heure sont trop longues.

3) On peut éviter la détérioration des résultats en informant le sujet de façon continue de ses erreurs et de ses réussites,

4) Un message téléphonique inattendu survenant au milieu de l'épreuve apporte une amélioration temporaire qui dure environ $\frac{1}{2}$ heure.

5) Si on avertit les sujets préalablement d'avoir à faire particulièrement attention dans une partie du test, on ne modifie pas le taux de réussite

6) Si on administre au sujet par la bouche 10 mg. de Benzédrine (sulfate d'amphétamine) une heure avant le début du test, le niveau initial de vigilance est efficacement maintenu pendant les 2 heures du test. Il s'agit là d'un effet pharmacologique, sans suggestion possible.

7) Il n'y a pas d'amélioration terminale de l'épreuve à la fin du test de 2 heures car l'estimation du temps est très mauvaise dans ces conditions Beaucoup de sujets pensent qu'il y a encore du temps quand les 2 heures sont terminées.

8) Dans les 3 dernières ½ heures du test de 2 heures, la proportion de signaux manqués est habituellement double ou même triple, même si les sujets font tout leur possible.

9) Les erreurs sont encore plus nombreuses dans une atmosphère très chaude.

10) Le résultat est plus mauvais si pendant la durée du test le sujet attend une communication téléphonique.

11) Il y a de grandes différences individuelles au clock test mais elles n'ont pas de rapport avec l'acuité visuelle ou le niveau intellectuel. On ne connaît pas la cause de ces différences.

B) - Le test du radar :

Le sujet est assis, seul, dans une pièce noire devant une imitation de tube cathodique. L'écran vert de 15 cm. de diamètre est balayé par une ligne lumineuse brillante à la vitesse d'un tour par seconde et de façon régulière. Le sujet doit négliger le balayage et observer une petite tache lumineuse de 2 mm sur 1 mm; aux bords flous et durant 4 secondes. Le signal apparaît 12 fois en 20 minutes. Les espacements sont irréguliers.

Les auteurs ont tiré de ces expériences les conclusions suivantes :

1) Quand la difficulté du test du radar est à peu près équivalente à celle du clock test, les sujets commencent à faire nettement plus d'erreurs après ½ heure de veille. Cela justifie une notion générale de vigilance visuelle.

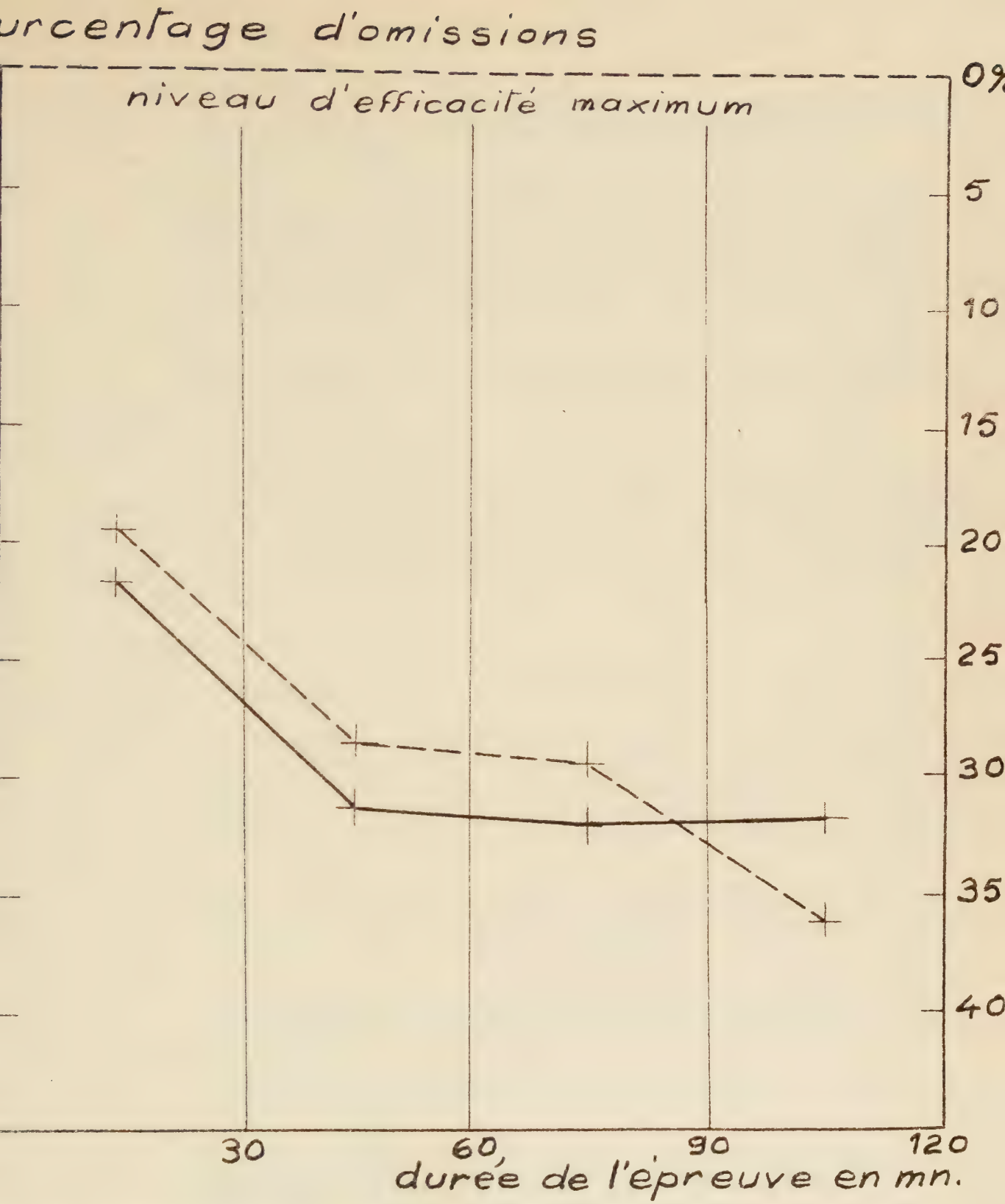
2) Si le signal devient plus facile à voir, il y a non seulement une amélioration des résultats en valeur absolue, mais la détérioration est aussi plus faible de ½ heure en ½ heure. C'est après 1 heure que l'on trouve une baisse nette.

C) - Le test de vigilance auditive :

Dans le main listening test (test de vigilance auditive), le sujet se trouve dans une salle insonorisée, il écoute grâce à des écouteurs les sons émis par un appareil situé dans une pièce voisine. Il est, dans ces conditions, facile d'entendre un son de fréquence voisine de 1.000 Hz et d'une force de 50 phones environ. Ce son est régulièrement émis toutes les 18 secondes et dure normalement 2 secondes. De temps à autre le son dure 2,25 secondes et c'est là le signal présenté 12 fois en 20 minutes (comme dans les tests visuels).

Les conclusions tirées de ces expériences de vigilance auditive sont les suivantes :

1) La baisse de performance de ½ heure en ½ heure est analogue à celle que l'on constate au cours des tests visuels. (Fig. IV - 1).



Tests visuel et auditif comparés

visuel
auditif
d'après MACKWORTH

Fig IV 1

2) La coïncidence des résultats des tests visuels et auditifs montre qu'il s'agit là d'un aspect du fonctionnement cérébral et non pas d'un trouble sensoriel particulier.

3) La baisse de vigilance peut amener des effets conscients et le sujet se trouvera dans l'état d'une baisse de l'attention. Mais il peut aussi se produire des changements profonds et inconscients au cours des travaux de veille. Il faut donc utiliser le concept "baisse de vigilance" plutôt que le concept "baisse d'attention" trop restreint par la notion de contrôle volontaire qui y est inclus.

La baisse de vigilance est une notion très générale et beaucoup plus importante que la seule baisse d'attention dans l'activité volontaire.

II - LES TRAVAUX ULTERIEURS

Depuis les premiers travaux de Mackworth réalisés pendant la dernière guerre pour l'Amirauté anglaise et publiés en 1950, les études de comportement en situation de vigilance ont été reprises par plusieurs auteurs anglo-américains. De nombreux tests ont été imaginés. Nous les présentons - de façon un peu artificielle - en les groupant selon leur ressemblance aux dispositifs conçus par Mackworth.

A) - Tests visuels :

1 - Dispositifs assimilables à ceux de Mackworth

FRASER (1953 a) demande à ses sujets de surveiller un petit écran sur lequel apparaissent des séries régulières de cercles de diamètre constant. Le signal significatif est représenté par un cercle de diamètre différent. L'auteur trouve un déclin dans la performance et établit que la seule présence d'un observateur auprès du sujet fait disparaître ce déclin.

Bovard E.W. (Montréal Neurological Institute) publiait récemment sur l'effet de stimuli sociaux sur le comportement ; il semble bien qu'il s'agisse ici d'un stimulus de cette nature.

Baker (1956) reprenant un dispositif très comparable au test du radar de Mackworth met en évidence l'importance de l'irrégularité des signaux pour provoquer la dégradation de la performance.

Selon que l'irrégularité est plus ou moins accusée, il obtient ou non la chute de vigilance.

Au cours des mêmes expériences BAKER enregistre aussi - par contacts placés sous le siège - l'activité motrice du sujet. L'auteur trouve une augmentation de l'activité au cours de l'épreuve.

2 - Dispositifs différents de ceux de Mackworth

BROABENT dès 1950 étudie la performance de sujets assurant la surveillance des cadrans de vingt manomètres disposés devant lui - Le sujet doit tourner un bouton si un des manomètres accuse une pression supérieure à une valeur critique déterminée. Le test dure 1 h. 30.

Pendant ce temps 15 signaux sont présentés à intervalles variés et sans avertissement. Le signal demeure jusqu'à la réponse du sujet et c'est le temps de réponse qui sert de critère d'appréciation.

L'auteur ne trouve pas de détérioration de la performance malgré la rareté des signaux.

FRASER (1953 b) reprend le test utilisant des séries de cercles apparaissant sur un écran mais en le sensibilisant. Le sujet doit non seulement détecter les cercles de diamètre supérieur à la normale, mais aussi déterminer l'instant où ils franchissent le centre de l'écran. Une erreur entache toujours cette détermination mais c'est la variance de l'erreur que l'auteur choisit comme critère d'appréciation du comportement.

L'auteur trouve une augmentation de la variance à mesure que le temps passe et ce test apparaît très sensible.

En 1957 FRASER étudie toujours, sur le même test de détection des cercles, l'effet d'une variation dans la différence de diamètre entre le cercle signal et les autres cercles. Plus la différence est petite, plus le déclin est accusé.

Dans le même esprit, l'auteur fait varier la durée de visibilité de chaque cercle. Pour une durée supérieure à 2 secondes le déclin n'est plus retrouvé. Ce résultat souligne l'importance de la durée du signal.

Une autre méthode d'investigation est utilisée par BAKAN en 1955. Le sujet surveille l'apparition de taches lumineuses. Certaines apparaissent plus brillantes que d'autres, ce sont les signaux à détecter. Lorsqu'un tel signal passe inaperçu, d'autres taches se succèdent de plus en plus brillantes jusqu'à ce que le sujet réagisse. L'intensité du signal efficace est alors notée. BAKAN trouve une augmentation du seuil efficace à mesure que l'épreuve se poursuit.

DEESE (1955) utilise un dispositif analogue à celui de BAKAN.

Ces deux auteurs, dans d'autres expériences modifient leur dispositif initial en ajoutant un balayage rotatif de l'écran par une raie lumineuse sans que l'apparition des signaux soit liée à la position de la raie de balayage.

BOWEN (1956) utilise une méthode encore différente. Les signaux sont des taches lumineuses apparaissant sur un écran par ailleurs animé d'un scintillement continu. Chaque signal se répète à intensité constante jusqu'à ce que le sujet le détecte. La longueur de la série mesure l'état de vigilance du sujet.

L'auteur remarque que la vigilance est influencée par la fréquence des séries de signaux (le déclin ne se produisant que pour des fréquences très basses) et par la vitesse à laquelle les signaux se répètent dans les séries (nécessaires à la détection.)

Les études de JERISON (1957) tendent à prouver l'influence du dispositif expérimental sur la vitesse de dégradation de la vigilance. Il compare les résultats de deux séries expérimentales. Dans l'une il utilise le test de l'horloge de Mackworth, dans l'autre l'association de trois horloges. Dans le premier cas il retrouve les résultats classiques, dans le second il trouve une performance d'emblée beaucoup plus altérée, mais se maintenant en plateau pendant toute la durée de l'épreuve. L'auteur suggère que la dégradation s'est effectivement produite mais très rapidement pendant les premières minutes. Nous retiendrons surtout de cette expérimentation la possibilité de grandes variations dans la performance par une simple modification du dispositif expérimental.

3 - Surveillance visuelle et activité motrice ajoutée

Alors que dans toutes les expériences précédentes le sujet n'exerçait qu'une simple tâche de surveillance, les situations suivantes demandent au sujet une participation active.

WHITTENBURG, ROSS et ANDREWS (1956) comparent les résultats obtenus au test de l'horloge et à ce même test modifié en ce sens que le sujet possède deux clefs de réponse : l'une pour répondre aux bonds réguliers de 4 gr. répétés chaque seconde, l'autre pour répondre aux signaux proprement dits : les bonds imprévus de 8 gr.

Dans l'un et l'autre cas, la dégradation de vigilance se produit et de façon à peu près identique.

Une autre situation a été imaginée par BURSILL (1858). Elle comporte une tache centrale et une tache périphérique arrangées de telle sorte que le sujet ne peut fixer son attention visuelle à la tache périphérique qu'au détriment des performances à la tache centrale. La tache centrale consiste en une épreuve de pistage dans laquelle le sujet doit s'efforcer à maintenir alignées deux aiguilles : l'une dont il commande les déplacements, l'autre qui subit des déplacements irréguliers à raison d'environ 55 inversions de sens par minute. La performance est évaluée par intégration des écarts entre les deux aiguilles par rapport au temps.

A la périphérie le sujet surveille l'allumage de six lampes disposées en demi-cercle, à même distance et à même hauteur que la cible de l'épreuve de pistage. Ces lampes sont situées respectivement à 20°, 50°, et 80°, à droite et à gauche de la cible, par rapport à l'axe de vision du sujet.

Les résultats obtenus par l'auteur, qui a étudié en particulier l'effet de la chaleur sur cette tâche complexe, sont analysés par ailleurs. Nous retiendrons pour l'instant le fait suivant : l'activité de pistage maintient le niveau de vigilance à condition qu'elle ne requiert pas trop fortement la capacité d'attention de l'opérateur.

Les derniers résultats que nous présentons sont encore plus significati puisqu'ils sont obtenus sur une tâche motrice continue qui s'apparente à de nombreuses tâches industrielles. Il s'agit d'une simple épreuve de poursuite dont on sait que son accomplissement n'entraîne pas habituellement de dégradation au cours du temps (HOFFMAN et MEAD 1943).

En effet, le caractère aléatoire du mouvement de l'objet poursuivi est une source continuelle de stimulation pour le sujet. SIDDALL et ANDERSON (1955) eurent alors l'idée de modifier l'épreuve en transformant le mouvement aléatoire de l'objet poursuivi en un mouvement régulier. Ils constatent alors une augmentation des erreurs en fonction du temps.

Ces résultats sont importants car il indiquent que l'influence monotone d'une situation ne dégrade pas seulement les tâches de surveillance, mais aussi les tâches motrices. Le champ d'application des études de vigilance s'en trouve considérablement élargi.

Le rapprochement de ces derniers résultats expérimentaux laisse donc penser que l'introduction d'une activité motrice dans une tâche de surveillance ne change pas fondamentalement la nature du problème posé par la monotonie. Ce qui détermine l'évolution du comportement c'est la nature de l'activité motrice et surtout les rapports existant entre les activités motrice et perceptuelle.

B - TESTS AUDITIFS

ELLIOT (1957) étudie la vigilance auditive en transposant le dispositif que BAKAN avait utilisé pour des stimuli visuels. Un son est répété régulièrement tout le long de l'expérience. De temps à autre un son différent - que le sujet doit détecter - s'insère dans la série régulière. Si ce signal n'entraîne pas de réponse, il est répété avec une intensité supérieure jusqu'à la détection.

L'auteur ne trouve pas de détérioration de la performance dans le temps. De même le fait de permettre aux sujets de lire ou écrire à leur volonté pendant l'épreuve, ne fait pas apparaître le classique déclin. Par contre, cette dernière modalité augmente la valeur du seuil moyen permettant la détection.

BAKAN (1952), KAPPAUF, PAYNE et POWE (1955) utilisent un test consistant en l'audition continue de chiffres prononcés à la vitesse d'un par seconde. Le sujet doit détecter toute association du même chiffre répété trois fois de suite. Le déclin de vigilance est alors faible, mais il peut être fortement accusé en compliquant la consigne.

III - EFFETS DES FACTEURS D'ENVIRONNEMENT

A) Effet de la chaleur

1 - Résultats de MACKWORTH

Mackworth étudia l'effet des hautes températures atmosphériques sur la vigilance de sujets soumis au test de l'horloge, pour 4 niveaux thermiques différents :

- 21°C. ; 26° C. ; 31° C. ; 36° C. ;

il s'agit de températures effectives exprimées en centigrades.

Tous les sujets participants effectuèrent d'abord le test dans des conditions atmosphériques normales. Ils subirent ensuite une acclimatation préalable par une exposition, 2 heures durant et deux jours consécutifs, à des températures croissantes de 26° à 33°.

- Résultats

Les résultats de l'auteur sont condensés sur le tableau IV.1

Il reproduit une détérioration de la vigilance d'autant plus accusée que les températures sont plus élevées. Toutefois, cette détérioration n'est significative que pour des températures supérieures à 26°.

Le nombre global d'erreurs augmente lui-même pour des températures supérieures à 26° C. mais aussi pour des températures inférieures.

Il peut sembler étonnant à première vue que l'efficacité soit moindre à 21° C., mais il faut considérer que les sujets étaient acclimatés à des températures plus élevées, qu'ils travaillaient en situation immobile, qu'ils étaient à peine vêtus : short et torse nu, avec une vitesse d'air de 30 m/mn. Dans ces conditions beaucoup de sujets avaient effectivement froid.

Il existe donc des conditions optima de climatisation ; les résultats de Mackworth les établissent ainsi :

- température sèche : 30° C.
- température humide : 24° C.
- vitesse de l'air : 30 m/mn.

Ces conditions ne sont valables que pour la tâche étudiée : une tâche de surveillance accomplie dans une situation bien définie.

L'auteur étudia, en outre, l'influence de l'entraînement au travail en situation de vigilance. L'entraînement n'intervient que pour les températures les plus hautes, supérieures à 26°, encore les différences ne deviennent-elles significatives que lorsque la tâche se prolonge au-delà de 1 h.$\frac{1}{2}$.

Ces derniers résultats montrent ainsi que l'exposition à la chaleur exagère les différences d'aptitudes individuelles.

2 - Résultats de BURSILL

Rappelons que la situation expérimentale de BURSILL associe une tâche centrale de pistage et une tâche périphérique de détection de signaux lumineux.

METZ montre que dans cette expérience de BURSILL, la dégradation de la vigilance est très accusée pour les hautes températures : "alors qu'en milieu tempéré (18° C. de température effective) seulement 3 % des signaux de la tâche périphérique passent inaperçus, on constate qu'en milieu chaud (36° C. de température effective) 17 % passent inaperçus au cours de la première heure, et 35 % au cours de la deuxième heure".

Température de la salle			% d'erreurs		dégradation de la vigilance
T° C (sèche)	T° C (humide)	T° C (effective)	1ère heure	2ème heure	
24	18	21	34,5	37,5	+3
30	24	26	27,4	32,1	+4,7
35	29	31	33,7	44,1	+10,4 *
40	35	36	32,3	44,6	+12,3 *

* différence significative

Effet de la chaleur sur la vigilance

d'après MACKWORTH

Tableau IV 2

B) Effet du bruit

L'effet du bruit sur la performance a été étudié par de nombreux auteurs mais peu de résultats ont été établis de façon incontestable. Des tâches très diverses ont été considérées mais à notre connaissance, deux seulement représentent la situation de vigilance classique : celles de BROADBENT (1953) et de JERISON (1957).

1 - Résultats de BROADBENT

BROADBENT a comparé les effets de bruits de 70 db et 100 db sur la surveillance visuelle prolongée d'écrans ou de cadrans. Quinze signaux seulement étaient présentés aux sujets pendant une durée totale de 1 h.30.

Dans un des tests la proportion de signaux détectés en moins de 10 secondes diminue de plus de 30 % pour le niveau de bruit le plus élevé.

L'analyse détaillée de l'évolution de la performance dans le temps, montre aussi que la performance dans le bruit est d'abord plus mauvaise qu'en condition tranquille, puis légèrement meilleure et finalement se détériore.

Cette détérioration tardive suggère à l'auteur que de nombreux sujets fournissent un effort supplémentaire dans le bruit. Effort qu'ils ne peuvent prolonger efficacement très longtemps.

2 - Résultats de JERISON

Dans son test des 3 horloges directement inspiré de MACKWORTH, JERISON compare l'effet du bruit aux niveaux globaux de 114 et 82 décibels. L'auteur trouve un effet significatif du bruit à la 4ème demi-heure du test de deux heures.

Ce résultat confirme ceux de BROADBENT, la détérioration existe mais tardive et pour les niveaux de bruits les plus élevés - 100 et 114 décibels.

3 - Résultats de WILKINSON

Dans une communication personnelle rapportée par BROADBENT, WILKINSON établit un effet particulier du bruit. Il ne s'agit pas semble-t-il de bruit intervenant comme ambiance pénible "fatigante" mais comme source supplémentaire de signaux. BROADBENT en utilise d'ailleurs les résultats non pas pour juger de l'effet du bruit en tant que tel, mais pour discuter l'effet d'afférences auditives sur des afférences visuelles ; son propos étant de soutenir ou de mettre en cause certains aspects des théories de la vigilance.

WILKINSON étudie les performances obtenues à la détection de signaux lumineux apparaissant sur un écran pour deux environnements sonores différents.

Dans un cas les sujets entendent seulement un bruit de fond homogène de basse intensité.

Dans l'autre cas ils entendent - superposés à ce même fond sonore - des signaux auditifs survenant toutes les 4 secondes. Le signal lumineux survient toujours aussitôt après l'un de ces sons de telle sorte que le sujet puisse se détendre brièvement entre les sons. Les conditions apparaissent donc plus favorables dans ce dernier cas, d'autant que les stimulations sensorielles sont plus nombreuses. Il était donc raisonnable d'en attendre un meilleur maintien de la vigilance au cours de l'épreuve.

En fait, le nombre moyen de signaux détectés est le même dans les deux cas mais en présence du signal intermittent et régulier la moyenne est obtenue avec une efficacité plus élevée au début et plus basse à la fin. La dégradation du comportement est donc accentuée.

Ces résultats illustrent bien la difficulté de toute prévision théorique dans ce domaine.

C) EFFET D'UN CONDITIONNEMENT COMPLEXE : chaleur, bruit et vibrations associés -

Une étude originale de l'effet sur la vigilance des différents facteurs d'environnement associés est entreprise par M. LOEB et G. JEANTHEAU en 1958. Ils utilisent le test des 20 cadrans de BROADBENT, mais disposés à bord d'un camion. Les situations suivantes : stationnement de jour ou de nuit, marche de jour ou de nuit, permettent d'isoler ou d'associer l'influence de la chaleur, du bruit et des vibrations.

Conditions

En stationnement nocturne le niveau thermique variait entre 18 et 24° C., le niveau de bruit global entre 65 et 75 db. et il n'y avait pas de vibrations perceptibles.

En marche de nuit le niveau thermique était le même, le niveau de bruit s'élevait à 110-125 db. (le spectre de bruit du véhicule était presque plat et centré approximativement sur la bande des 5000 c/s. Aucun moyen valable de mesurer les vibrations ne put être utilisé.

En marche de jour les conditions de bruit et de vibrations étaient comparables aux conditions en marche nocturne, mais la température variait entre 43 et 52° C.

Ces mêmes températures étaient retrouvées en stationnement diurne et les conditions de bruit et de vibration différaient peu de celles observées en stationnement nocturne.

Dans toutes ces situations l'humidité était comprise entre 4 et 24 %. L'ensemble de ces conditions furent observées à la "Yuma Test Station Arizona". Les effets sont appréciés par la mesure des temps de réaction.

Résultats

Une augmentation significative des temps de réaction n'est retrouvée que lors de la marche de jour - situation associant donc chaleur, bruit et vibration - encore l'effet trouvé est-il transitoire.

D) EFFET D'UNE PRIVATION DE SOMMEIL SUR LA PERFORMANCE EN SITUATION DE VIGILANCE

Un récent travail de WILKINSON (1958) cherche à établir les tâches susceptibles d'être particulièrement affectées par une privation de sommeil modérée. Dans cette étude les sujets "privés" de sommeil restent éveillés la nuit entière précédant l'expérimentation.

L'auteur compare ainsi le comportement de deux échantillons de sujets : les uns 24 à 30 heures après leur dernière nuit - les autres quelques heures après une nuit normale.

Les tâches de vigilance se révèlent très sensibles de par leur nature - aux effets d'une privation de sommeil. Par contre, des épreuves de courte durée ou prolongées, mais exigeant une activité mentale soutenue (addition de chiffres discrimination de signaux se succédant au rythme de réponse du sujet) ne sont pas ou sont beaucoup moins affectées.

1 - Test du radar

L'auteur utilise comme test de vigilance simple le dispositif de Mackworth dit "test du radar". L'épreuve dure 40 mn. L'effet de la privation de sommeil est significatif, après 20 m,. de surveillance, la baisse de vigilance est très accusée à mesure que l'épreuve se prolonge.

2 - Test du radar modifié

WILKINSON transforme le dispositif précédent pour étudier l'effet de la privation de sommeil avec des fréquences de réponse plus ou moins grandes. Un son est émis toutes les 4 secondes. Les signaux lumineux surviennent immédiatement après les sons ; mais les sons étant plus nombreux que les signaux lumineux, il y a deux catégories de sons :

- son + lumière,

et son - lumière.

Le sujet possède 2 clefs et peut répondre différemment aux sons des 2 catégories.

En fait l'auteur compare deux séries :

- l'une "de haute fréquence de réponse" où le sujet utilise les 2 clefs.

- l'autre "de basse fréquence de réponse" où le sujet n'utilise qu'une clef et ne répond qu'aux "sons + lumière".

Résultats - Pour les sujets privé de sommeil les conditions de haute fréquence de réponse sont légèrement favorables : le déclin de vigilance est moins accusé qu'en basse fréquence.

En fait, cette amélioration est légère, et obtenue de façon très particulière - Après privation de sommeil près de la moitié des signaux "son + lumière" sont d'abord détectés comme "son - lumière" et immédiatement corrigés en "son + lumière" le sujet s'apercevant aussitôt de son erreur. La différence entre le nombre de ces "fautes corrigées" avec ou sans privation de sommeil est significative.

L'auteur donne de ces faits l'interprétation suivante : la privation de sommeil rendrait le sujet incapable d'inhiber un système de réponse acquis

CINQUIEME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE DE LA VIGILANCE EN CONDUITE AUTOMOBILE MONOTONE

I - ETUDE EXPERIMENTALE DE LA VIGILANCE EN CONDUITE AUTOMOBILE -

A) LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

1 - Description du dispositif

a) - Vue d'ensemble

Nous avons réalisé un dispositif expérimental qui nous paraît reproduire l'essentiel des situations dans lesquelles des accidents d'automobile se produisent par perte de vigilance. Le sujet isolé dans une salle insonore est assis devant un écran sur lequel est projeté un film représentant une route de forêt monotone où il ne passe rien. Le film est réalisé en cinémascope et projeté sur écran large de telle sorte que le champ visuel du sujet est occupé par le film. Des taches lumineuses de faible diamètre apparaissent sur l'écran. Elles sont rares, irrégulièrement espacées et de courte durée. Le lieu d'apparition est imprévisible pour le sujet comme le moment de présentation. Par contre, le lieu et le moment d'apparitio sont fixés à l'avance sur un programmeur. Quand le sujet voit le signal, il appuie sur un bouton-poussoir qu'il tient en main. Sur un cylindre enregistreur se trouvent notées la présentation des signaux et la réponse du sujet si elle a lieu.

Tous les appareils de projection et d'enregistrement ainsi que le programmeur se trouvent en dehors de la pièce occupée par le sujet. La projection se fait au travers d'une fenêtre à double paroi

b) - Caractéristiques fondamentales du test de vigilance

- La longueur de l'épreuve : la projection totale du film dure 1h.40 En fait, nous pouvons prolonger ce temps en diminuant lègèrement la vitesse du film sans entraîner d'inconvénients. Les deux heures peuvent alors être dépassées. Il est en tout cas nécessaire que la projection se fasse sans interruption et à une vitesse constante de déroulement du film.

- La rareté des signaux : 16 signaux surviennent dans l'heure.

- L'irrégularité des intervalles de temps entre signaux :

Les intervalles déterminés par l'utilisation d'une table de hasard constituent la série suivante (en minutes) :

2 - 3 - 6 - 2 - 4 - 1 - 3 - 9,

l'intervalle varie donc de 1 à 9 minutes.

- L'impossibilité de prévoir l'apparition des signaux :

Nous avons vu que les signaux sont très irréguliers dans le temps, il en est de même de l'espace. L'ordre des points d'apparition des signaux sur l'écran a aussi été déterminé au hasard.

- La difficulté de perception : la détection des signaux est facile e attention concentrée ; elle demande un effort de surveillance dans les conditions de l'épreuve.

c) - Conditions de visibilité

- Ecran et champ visuel : La projection du champ visuel binoculaire sur le plan de l'écran englobe toute l'image du film, la dépassant largement dans la partie supérieure.

- Situation des taches lumineuses sur l'image projetée :

L'image du film représente une route de forêt ; les signaux apparaissent latéralement dans la masse sombre des arbres qui borde les deux côtés de la route de façon à assurer une certaine homogénéité des contrastes - (Fig. V.1) (Tabl. V.1)

- Taille des taches lumineuses : les taches sont rondes de 25 mm de diamètre ; leur grandeur angulaire est de 0,62 g.

- Brillance de ces taches : le luxmètre mesure des brillances de l'ordre d'un lux.

- Durée des signaux : Ils sont très brefs puisqu'ils ont une durée moyenne de 4/10e de seconde.

2 - Conditions psychologiques

a) - Consigne :

La rédaction de la consigne a été inspirée par la préoccupation suivante :

- mettre le sujet en confiance -

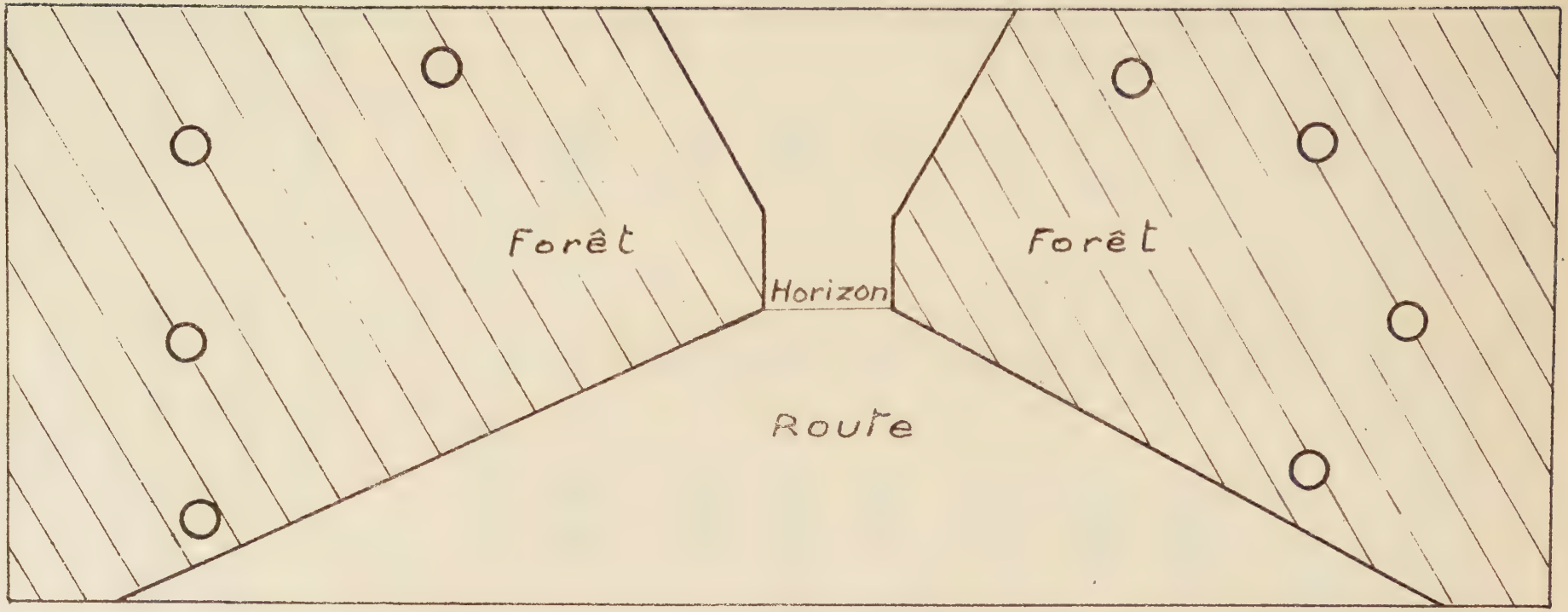
et à cette fin, lui donner des explications suffisantes pour comprendre la tâche à accomplir, mais aussi pour se faire une idée d'ensembl de l'expérimentation entreprise.

Comme la consigne le précise, l'épreuve proprement dite ne commençait qu'après la détection de 3 signaux consécutifs par le sujet, cet précaution devant assurer l'apprentissage.

Texte de la consigne : "Nous voulons étudier les possibilités de résistance à l'endormissement au cours d'une tâche monotone. La monotonie est ici obtenue :

- par la projection d'une route filmée dans la forêt de Fontainebleau ; sur la route, il ne passe rien.

- par l'apparition sur le film de taches lumineuses rares et irrégulières.



Situation des taches lumineuses sur l'image projetée

Fig. V 1

Lampes	distance au centre en cm.	excentricité en gr.
①	105	26
②	100	25
③	100	25
④	68	17
⑤	81	21
⑥	90	23
⑦	78	20
⑧	55	14

Position des taches lumineuses
excentricités exprimées en gr.

Tableau V 1

Votre travail consiste à signaler l'apparition des taches lumineuses au moyen de ce bouton-poussoir.

Ce travail demande un effort d'attention car :

- les taches de forme ronde et de diamètre inférieur à 30 mm ne sont visibles que si on s'applique à les détecter.

- De plus, ces taches sont rares (20 par heure environ) et irrégulièrement espacées, apparaissant au hasard sur l'écran et au hasard dans le temps.

- L'épreuve dure assez longtemps mais vous aurez fini avant 18 H.

Pour que vous sachiez bien reconnaître les signaux, je vais commencer la projection du film et vous envoyer trois signaux qui apparaîtront successivement :

- en haut à gauche,
- en bas à gauche,
- en haut à droite.

Vous répondrez à ces 3 signaux avec le bouton-poussoir.

Si les réponses sont correctes nous enchaînerons aussitôt. Si les réponses sont incorrectes, nous ferons ensemble une nouvelle mise au point. Il est important que vous ayez vu ces premiers signaux pour pouvoir les différencier par la suite des imperfections du film qui apparaissent aussi sous la forme de points brillants.

Je vous retire votre montre pour vous éviter de la consulter - ce serait une information extérieure et l'épreuve nécessite l'absence de telles interventions. Pour la même raison, nous n'aurons ensemble aucune communication après le départ si vous avez bien répondu aux trois premiers signaux.

Je précise que nous ne mesurons pas le temps de réaction, vous pouvez donc répondre après une hésitation.

Par ailleurs, l'épreuve ne doit pas être considérée comme un examen pouvant avoir des conséquences personnelles. Nous cherchons à expliquer certains accidents d'automobile. Vous êtes dans un service de recherche et non dans un service psychotechnique : les résultats restent anonymes".

b) - Motivations :

Les sujets venaient des services voisins, après accord de leur chef hiérarchique, sur une seule invitation à laquelle leurs obligations de service permettaient de se dérober. Ils venaient donc par curiosité pour rendre service, pour se détendre, avec peut-être une légère attirance vers des avantages en nature offerts à la fin de l'épreuve : cigare ou bouchée en chocolat.

Apparemment, ils étaient tous motivés dans le même sens : réussi la tâche. En effet, ce sont tous des conducteurs d'automobile et l'an logie du test avec la conduite leur faisait mettre un point d'honneur à bien réussir. Ils savaient qu'en fin d'épreuve, ils connaîtraient leurs résultats et pourraient les comparer entre camarades. Ce facteu d'émulation n'était pas recherché pour lui-même mais il nous semblait important de montrer son résultat au sujet pour obtenir sa coopératio tant pour l'épreuve que pour l'interview qui suivait.

Cette motivation nous semble importante à souligner pour dégager toute la signification de l'analyse du comportement.

3 - Sujets participants

a) - Nombre :

- 30 sujets ont passé l'épreuve tous aux mêmes heures entre 15 h. et 18 h.

b) - Origine :

- l'échantillon est homogène composé essentiellement d'agents techni- ques de laboratoire ou d'étude.

4 - Procédé d'enregistrement

a) - Le programme signal :

Il est établi pour une demi-heure. Il comprend huit signaux répartis au hasard comme nous l'avons vu. Ce programme se répète, identique, toutes les trente minutes, ce qui facilite l'interprétatio des résultats si l'on compare ces demi-heures entre elles.

b) - Dispositif d'enregistrement :

L'enregistrement des résultats se fait sur un cylindre à deux voies graphiques parallèles correspondant l'une à l'émission du signa l'autre à la réception de la réponse.

5 - Originalité du dispositif

Si l'on compare le dispositif décrit au test de l'horloge de Mackworth, quelques caractères particuliers apparaissent qui soulignent la différence des situations. Dans notre dispositif, l'attention est très diffusée puisque tout le champ visuel binoculaire du sujet est intéressé. Par ailleurs, il s'agit de détection absolue, ce n'est pas un signal qu'il faut discriminer par sa plus forte intensité ou sa durée plus longue (Mackworth), le signal est de nature distinote du contexte de la situation Par là même il n'y a pas émission régulière de signaux non significatifs dont la fréquence chez Mackworth était d'un signal par seconde. Or, il est possible que la fréquence des signaux non significatifs exerce une influen sur la chute de la vigilance.

Notre dispositif ne présente pas de signaux réguliers du type évoqué ci-dessus mais, par contre, il fournit à la tâche de détection un contexte visuel reproduisant le concret d'une situation réelle : une route de forêt avec des arbres, des virages, du soleil, des flaques d'eau et beaucoup d'autres détails.

Si donc les caractéristiques - que nous avons appelées fondamentales d'une situation de vigilance - sont comparables dans le test de l'horloge et dans le test de conduite, les situations apparaissent très différentes.

L'intérêt de l'épreuve de vigilance routière - en plus de ses applications directes - nous paraît résider dans la plus grande complexité de la situation.

B) RESULTATS

1 - Généralités sur le dépouillement des résultats

a) Lecture des enregistrements :

Nous avons dit que l'appareil d'enregistrement comporte deux voies parallèles, sur l'une s'inscrit l'envoi du signal, sur l'autre - et au même niveau - la réponse éventuelle du sujet.

En fait, nous avons trouvé deux types de réponses :

- les réponses vraies aux signaux,
- les réponses inutiles émises en dehors de tout signal déterminant deux types d'erreurs :
  - les omissions,
  - les réponses inutiles.

b) Nombre d'erreurs totalisées ; rapports erreur/signal ; moyennes d'erreurs par sujet :

- 720 signaux ont été émis ;
- 217 omissions ont été totalisées soit (1 omission pour 3 signaux, (7 omissions par sujet.
- 103 réponses inutiles, soit (1 pour 7 signaux, (3 par sujet.

c) Elimination des réponses inutiles :

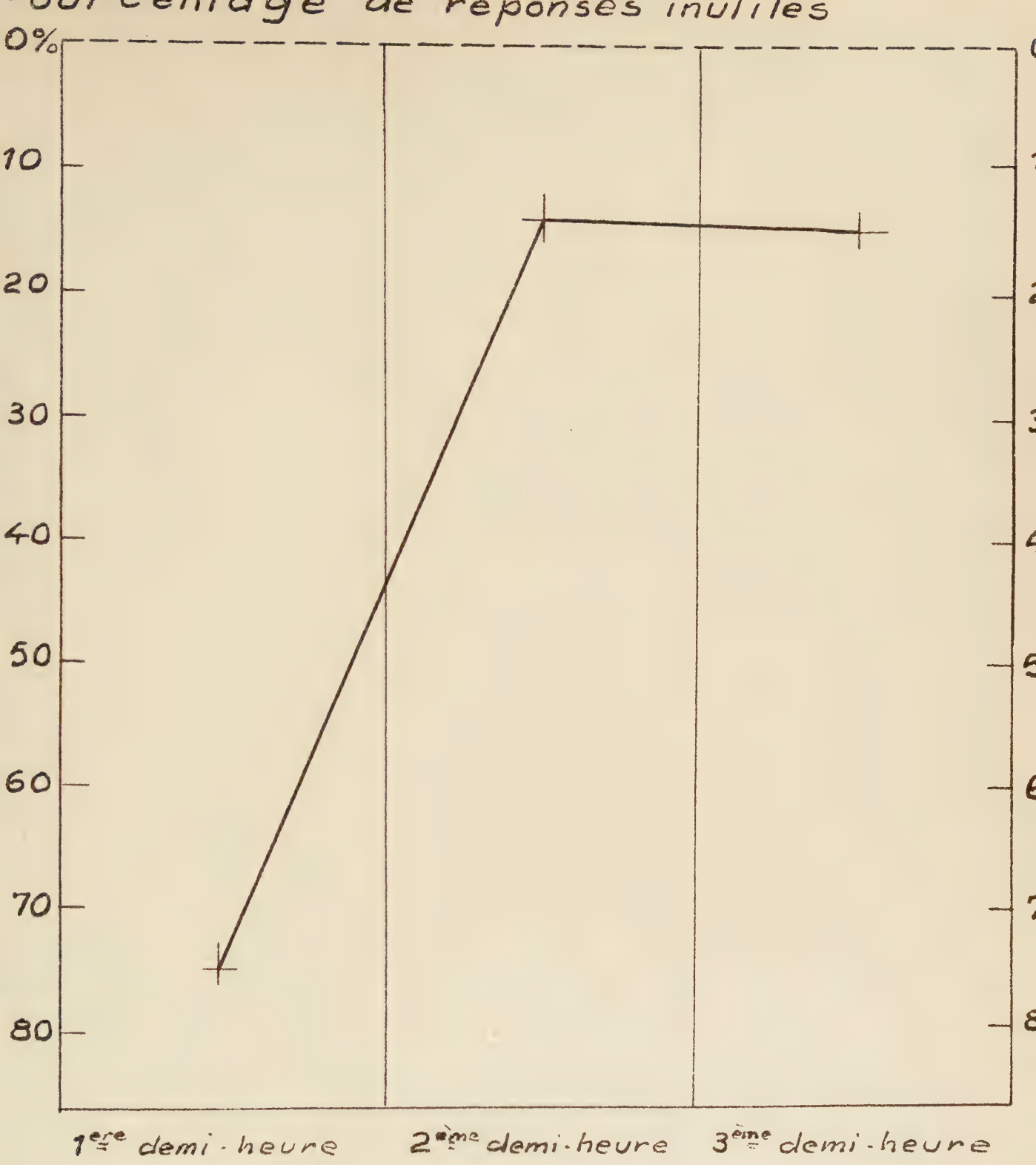
Nous ne retenons pas les réponses inutiles pour la lecture du test de vigilance ; en effet, ces erreurs se distribuent dans le temps de façon très particulière. Le tableau V.2 et les fig. V.2 et V.3 montrent que le plus grand nombre apparaît dans les premières minutes de l'épreuve :

- 71,8 % dans la première demi-heure,
- 65 % de ces erreurs de la 1ère demi-heure dans les 7 premières minutes.

	1ère ½ heure	2ème ½ heure	3ème ½ heure
nombre	74	14	15
pourcentage	71,8	13,7	14,5

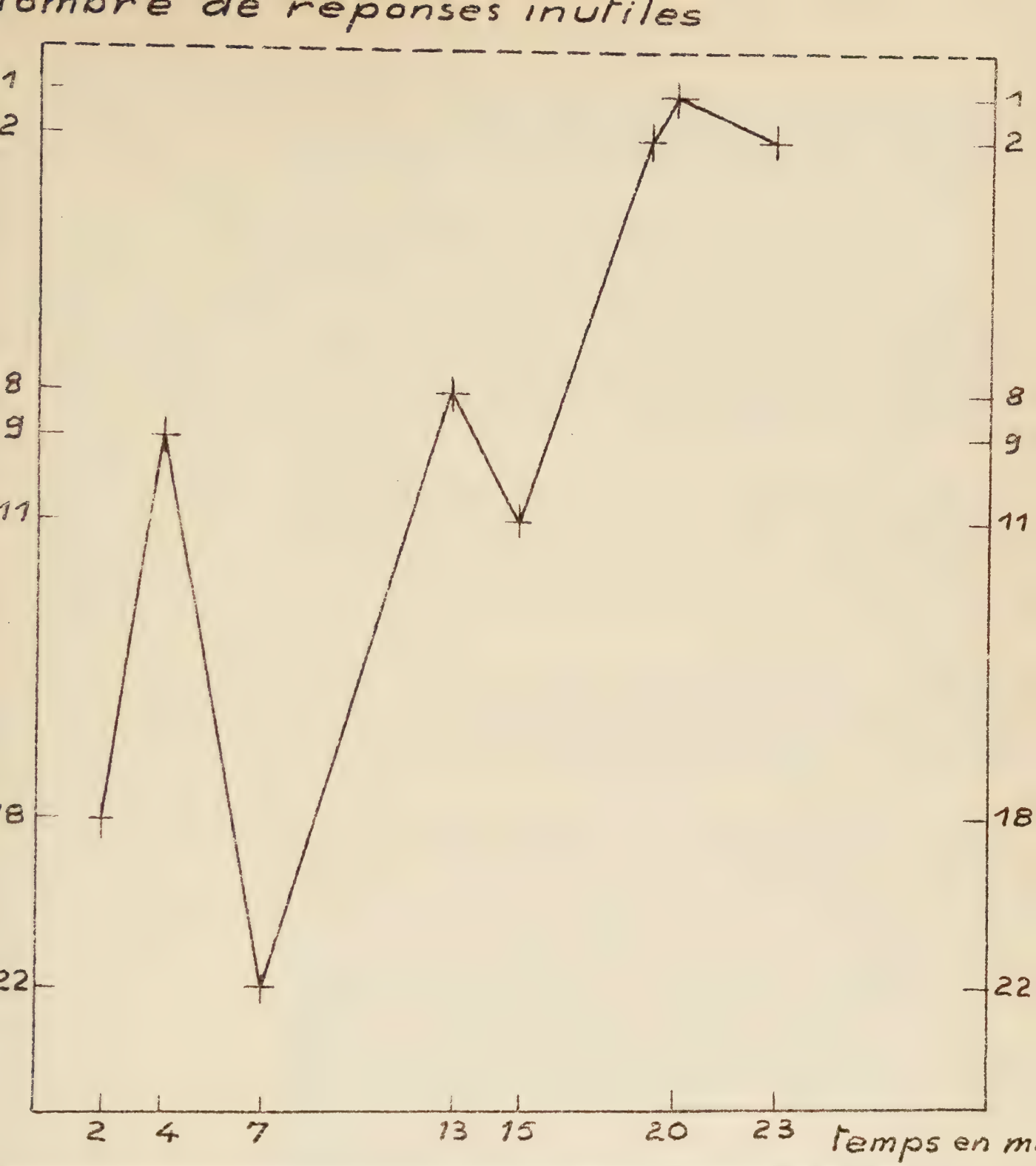
Distribution des réponses inutiles par demi-heures

Tableau V 2



Distribution des réponses inutiles

Fig. V 2



Distribution des réponses inutiles

pendant la première demi-heure

Fig. V 3

Ce groupement des réponses inutiles à la partie tout à fait initiale de l'épreuve suggère un effet d'apprentissage qu'il nous faut dissocier de l'effet de dégradation de la vigilance. Retenir les réponses inutiles reviendrait à masquer le 2ème effet par le 1er.

2 - Evolution du niveau de vigilance pendant l'épreuve

a) Pendant les trois demi-heures consécutives :

Nous n'avons retenu que les trois premières demi-heures, temps minimum d'enregistrement commun aux trente sujets. Le nombre d'erreurs augmente considérablement de la première demi-heure à la seconde et reste stationnaire de la deuxième à la troisième. Le tableau V.3 et la figure V.4 illustrent cette évolution de la performance.

L'augmentation des erreurs de la première demi-heure aux suivantes est significative - (au seuil de .05, c'est-à-dire l'éventualité de moyennes égales pour les demi-heures que l'on compare si elle était soumise au hasard ne se produirait que dans 5 % des cas).

Les épreuves de signification statistique sont résumées dans le tableau V.4.

Nous pouvons ainsi estimer que la dégradation de la performance mise en évidence correspond à une altération de l'état vigile, nos conditions expérimentales évitant l'intervention d'autres facteurs. En d'autres termes, l'évaluation de la dégradation de la performance évalue indirectement la dégradation de la vigilance.

Précisons que les valeurs absolues des performances ne peuvent être retenues comme évaluation des niveaux de vigilance comparés d'un sujet à un autre ou d'une série expériementale à une autre. Il suffit en effet, que la difficulté de la tâche augmente pour que la valeur absolue de la performance diminue ; la performance est moins bonne, ce n'est pas pour autant que la vigilance est moins grande. De même, il serait inexact de parler d'état de vigilance ou de non vigilance. En fait, il existe tous les niveaux possibles de vigilance et ce que nous étudions ce sont les fluctuations de l'état vigile qui ne peuvent être déterminées que par rapport à un niveau initial de référence. Ici nous prenons comme niveau initial celui de la 1ère demi-heure et nous pouvons dire seulement que la chute de vigilance est de 15 % à la 2ème demi-heure, 14 % à la 3ème demi-heure.

b) Estimation du niveau de vigilance dans la 4ème demi-heure

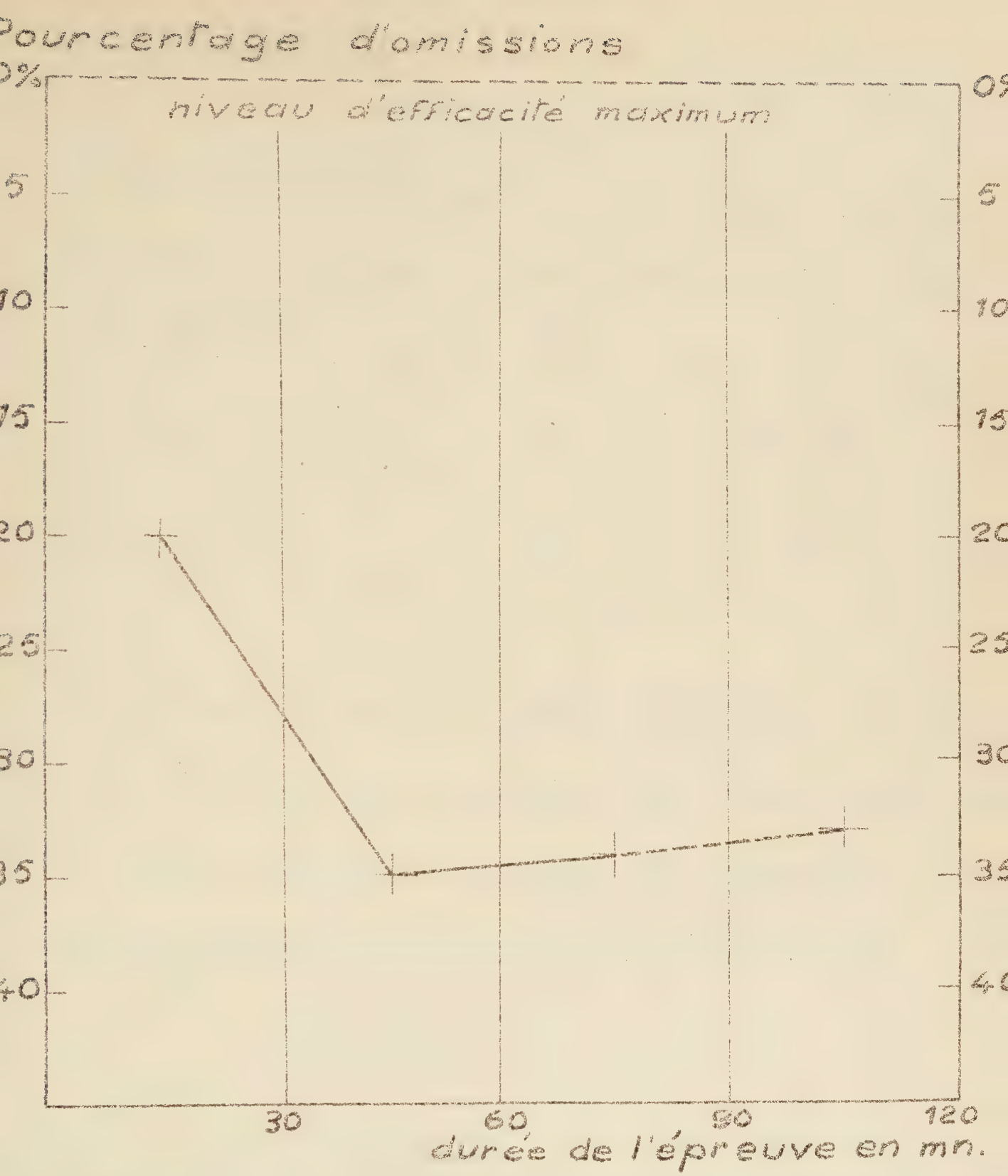
La quatrième demi-heure n'a pas été passée entièrement par les trente sujets. Nous avons pourtant estimé le nombre d'erreurs total pour cette quatrième demi-heure à partir des résultats partiels obtenus. Ce résultat, malgré son manque de rigueur, constitue cependant un ordre de grandeur de la performance réelle. (Tableau V.4 et figure V.5).

	1ère ½ heure	2ème ½ heure	3ème ½ heure
Nombre d'omissions	50	84	83
Pourcentage *	20 (50/240)	35 (84/240)	34 (83/240)

* Le pourcentage correspond au nombre d'omissions rapporté au nombre de signaux présentés

Evolution de la vigilance
Résultats pour 1H30 d'épreuve

Tableau V 3



Evolution de la vigilance

4ème ½ heure estimée

Fig. V4

t calculé	t lu pour $\nu = 7$	
	.05 : 2,36	.02 : 3,00
t_2 : 3,06	S	S
t_3 : 2,47	S	N S
t_m : 2,94	S	S

t_2 différence entre moyennes des 1ère et 2ème demi-heur

t_3 différence entre moyennes des 1ère et 3ème demi-heur

t_m difference entre moyenne 1ère demi-heure

et demi-somme des 2ème et 3ème demi-heure.

Epreuve de signification de la différence entre moyennes

Tableau V 4

c) Variation des résultats entre sujets : l'indice moyen de dégradation comparé chez les 30 sujets :

Les différences sont grandes entre les performances globales des sujets puisque le nombre d'omissions varie de 1 à 14.

Mais ce ne sont pas les performances en valeurs absolues qu'il nous importe de comparer, nous avons déjà eu l'occasion de le préciser. Ce qui nous intéresse, c'est l'importance comparée de la dégradation de la performance chez les trente sujets.

A cet effet, nous pouvons définir pour chaque sujet un indice moyen de dégradation qui sera le rapport entre : d'une part, le nombre moyen d'erreurs des 2ème et 3ème demi-heures et le nombre d'erreurs de la 1ère demi-heure, d'autre part.

d) Corrélation entre la qualité de la détection et le maintien de la vigilance :

Etant donné que le nombre global d'omissions totalisé par un sujet détermine la qualité de sa détection et que l'indice de dégradation de vigilance exprime sa capacité à maintenir sa vigilance pendant l'épreuve, il nous semble intéressant de chercher la nature du rapport entre ces deux variables.

Une corrélation existe - très significative au seuil de .01 - établissant que les sujets les meilleurs à la tâche de détection le sont aussi pour lutter contre la baisse de vigilance au cours de l'épreuve.

e) Corrélation entre le nombre d'omissions et le nombre de réponses inutiles pendant la 1ère demi-heure :

Nous savons que les réponses inutiles, c'est-à-dire non provoquées par un signal, sont groupées presque en totalité dans la 1ère demi-heure (71,8 %). Appelons les erreurs de ce type "impulsions", les calculs établissent une corrélation négative entre impulsions et omissions. Cette corrélation n'est pas significative, mais elle suggère que les sujets assurant la détection la plus efficace sont aussi ceux qui font le plus de réponses inutiles. Nous serions tenté de penser que les sujets les meilleurs sont les plus impulsifs - les plus émotifs et en ce sens "émotivité" et capacité à assurer une vigilance prolongée ne seraient pas indépendantes l'une de l'autre.

Des résultats expérimentaux présentés par J. Ross et Collaborateurs en 1959 fournissent quelques éléments à l'appui de cette hypothèse. L'auteur enregistre la résistance cutanée de sujets effectuant une épreuve de vigilance (il s'agit du test de l'horloge de Mackworth). Les résultats suggèrent que le niveau de faible résistance cutanée est associé avec la meilleure performance en vigilance. La corrélation n'est pas significative, mais l'auteur n'a utilisé que 7 sujets, ce qui nous semble un échantillon assez faible.

	1ère ½ heure	2ème ½ heure	3ème ½ heure	4ème ½ heure
Nombre d'omissions	50	84	83	80
Pourcentage	20	35	34	33

Evolution de la vigilance
4ème demi-heure estimée

Tableau V

Le niveau de résistance cutanée augmente à l'endormissement et diminue à l'éveil et de façon générale les variations de ce niveau s'effectuent en relation étroite avec l'état émotionnel. Si l'on admet les résultats de Ross, le niveau de résistance cutanée évolue avec le niveau de vigilance et l'on pourrait soutenir l'hypothèse d'une liaison entre vigilance et état émotionnel. Malheureusement Ross met aussi en évidence que les 4 sujets, qui ont fait la meilleure performance et qui ont eu le niveau de résistance cutanée le plus bas, n'ont fait aucune erreur par impulsion, ce qui est plutôt contradictoire avec nos résultats.

3 - Influence de la répartition des signaux dans le temps et dans l'espace sur la vigilance

L'augmentation des omissions de la 1ère demi-heure aux suivantes c'est-à-dire la baisse de vigilance peut être observée sur l'ensemble des lampes, mais aussi sur chacune des huit lampes en particulier. Cependant, le nombre d'omissions et son augmentation de demi-heure en demi-heure varient beaucoup d'une lampe à l'autre. Trois facteurs liés à la répartition des signaux dans le temps et dans l'espace nous semblent pouvoir intervenir :

- l'excentricité des signaux sur l'écran,
- la latéralité des signaux (gauche ou droite),
- la durée de l'intervalle de temps entre un signal et le signal précédent.

On compare l'indice de dégradation de vigilance entre les lampes et on procède à l'analyse de la variance en fonction des trois facteurs pris deux à deux.

L'effet d'excentricité est prédominant mais n'atteint pas une valeur significative. On retrouve le résultat déjà signalé par BAKER (1956) et BURSILL (1958) : la dégradation de vigilance est plus accusée à la périphérie qu'au centre.

C) DISCUSSION

1 - La dégradation de la performance traduit l'effet de la baisse de vigilance et d'elle seule -

La discussion relative à l'évolution de la vigilance pendant 1 h.30, durée de l'épreuve, est simplifiée par le fait que toutes les variables attachées aux signaux et susceptibles d'intervenir sur la performance se retrouvent chaque demi-heure. Ainsi la durée des intervalles de temps entre signaux, la situation topographique des signaux sur l'écran, mais aussi les variations d'intensité lumineuse et de durée des signaux se reproduisent bien toujours identiques de demi-heure en demi-heure.

Il existe pourtant une source d'erreurs possibles. Elle est imputable au film, plus exactement au mariage du film et du programme de signaux.

En effet, le film réalisé par la reproduction d'une séquence de 12 minutes, est projeté "pour son propre compte" sans qu'aucune correspondance ne soit établie avec le programme-signal. Il est donc permis de penser que les signaux apparaissent d'une demi-heure à l'autre en des points différents de l'image et donc avec des contrastes différents. Cela peut entraîner des variations de difficultés de perception des signaux et donc des différences dans la performance d'une demi-heure à l'autre.

Il est exact que ces différences existent car l'effort de groupement des signaux dans les masses latérales des arbres ne peut faire illusion : la forêt est plus ou moins dense et le soleil la pénètre plus ou moins.

Pourtant si tout cela est vrai, il est peu probable que cette source de variation entraîne un effet systématique ; si l'imbrication film-signaux varie à chaque demi-heure, le hasard préside à ces variations et il n'y a pas de raison qu'il se produise des effets systématiques.

2 - La dégradation de la vigilance en situation monotone est une loi psychophysiologique

Il est important de remarquer que nos résultats sont tout à fait superposables à ceux obtenus par Mackworth au cours de ses différentes investigations. La figure V.6 résume nos résultats et ceux qu'a obtenus Mackworth dans deux séries expérimentales au test de l'horloge. Les petites différences que l'on peut relever portent sur le pourcentage d'erreurs au cours de la première demi-heure (relativement plus élevé dans notre étude) et sur l'importance de la dégradation de la performance c'est-à-dire sur l'amplitude des phénomènes et non sur leur sens.

La complexité et la sévérité plus grande de notre portocole expérimental doivent rendre compte de ces différences (nous avons souligné les différences essentielles des protocoles dont nous comparons les résultats).

Cette analogie des résultats indique nettement que quelles que soient les situations réalisées, il suffit qu'un certain nombre de caractéristiques soient réunies pour que se trouve induite une même évolution du comportement. Ces caractéristiques sont donc fondamentales. Elles définissent la tâche de vigilance : rareté, irrégularité de signaux faibles, imprévisibles, exigeant une réponse au cours d'une tâche de longue durée.

On peut donc penser que dans toute situation de ce type, la quasi totalité des sujets est dans l'impossibilité d'éviter l'altération de leur performance quand la tâche se prolonge sans interruption au delà d'une demi-heure.

3 - Données expérimentales relatives aux caractérisques fondamentales de la situation de vigilance

a) Faiblesse des signaux :

La mise au point du protocole expérimental nous a montré l'importance de ce facteur. Il faut, toutes choses étant égales par ailleurs que les signaux soient faibles pour obtenir un test sensible sous l'angle de la vigilance. La difficulté de perception des signaux a été déterminée empiriquement en utilisant deux variables : l'intensité du courant d'alimentation des lampes-signaux et la durée des signaux.

Rappelons que la brillance des taches lumineuses est de l'ordre du lux et que leur durée moyenne est 0,4 sec. Cette difficulté peut apparaître exagérée. Pourtant le nombre moyen d'omissions au cours de la 1ère demi-heure n'est que 1,6 pour 8 signaux. Par ailleurs, nous avons eu l'occasion de faire passer le test à un sujet présentant un important déficit unilatéral de l'acuité visuelle (1/10e à gauche, 10/10e à droite). L'oeil normal étant obstrué, le sujet a pu suivre le test pendant près de 3/4 d'heure en établissant une performance tout à fait satisfaisante.

Des expériences réalisées par Fraser en 1957 prouvent l'inportance de ces facteurs d'intensité et la durée des signaux dans une situation de vigilance. L'auteur utilise un test dérivé du test de l'horloge. Il demande au sujet de surveiller un écran sur lequel apparaissent des séries régulières de cercles de diamètre constant. Le signal significatif est représenté par un cercle de diamètre différent. FRASER étudie l'effet d'une variation dans la différence de diamètre entre le cercle signal et les autres cercles. Plus la différence est petite plus le déclin est accusé. Dans le même esprit, l'auteur fait varier la durée de visibilité de chaque cercle. Pour une durée supérieure à 2 secondes le déclin n'est plus retrouvé. BROADBENT en prolongeant la durée du signal jusqu'à sa détection ne trouve pas de déclin dans la performance.

En fait, il nous semble qu'intensité et durée des signaux ne peuvent pas être considérées indépendamment comme des caractéristiques essentielles d'un test de vigilance. Elles définissent ensemble la difficulté de perception et déterminent ainsi le niveau global de la performance. Cette difficulté de détection constitue elle-même un facteur de vigilance et contribue à déterminer l'importance du déclin de la vigilance. L'intensité absolue du signal est d'ailleurs peu importante quand celui-ci apparaît sur un fond de brillance assez élevée et variable. Il est beaucoup plus réaliste d'évaluer l'intensité relative du signal et du fond.

b) Rareté des signaux :

BOWEN (1956) met en évidence l'influence de la fréquence des signaux sur la vigilance. Il n'obtient un déclin de la performance que pour des fréquences très basses.

MACKWORTH, dans un rapport présenté en 1956, signale aussi que de simples variations du nombre de signaux présentés pendant un temps donné peuvent modifier la probabilité d'une réponse au signal.

Fréquences	Réponses aux signaux
10/heure	45 %
40/heure	90 %

L'augmentation de la fréquence augmente le nombre de réponses.

c) Irrégularité des signaux :

BAKER (1956) reprenant un dispositif très comparable au test du radar de MACKWORTH met en évidence l'importance de l'irrégularité des signaux sur la production d'une dégradation de la performance. Selon que l'irrégularité est plus ou moins accusée, il obtient ou non une chute de vigilance.

d) La longueur de la tâche :

WYATT en 1932 montrait que l'efficacité du contrôle dans un travail d'inspection diminue après une durée d'une demi-heure environ. MACKWORTH, citant la conclusion de cet auteur, ajoutait "le moment où la vigilance diminue dépend cependant d'un grand nombre de facteurs physiques et psychologiques. Selon les circonstances, cette durée peut s'étendre de quelques minutes à une heure".

Il nous semble cependant très remarquable que la latence d'une demi-heure précédant le déclin de la vigilance ait été retrouvée dans la quasi totalité des recherches entreprises dans ce domaine. Seul JERISON (1957) évoque la possibilité d'une dégradation survenue dans les 1ères minutes du test, mais ce n'est qu'une hypothèse. L'auteur, dans une série expérimentale, utilise le test de l'horloge, dans un autre dispositif associant trois tests de l'horloge. Dans le 1er cas, il retrouve les résultats classiques de MACKWORTH, dans le second il trouve une performance d'emblée beaucoup plus altérée mais se maintenant en plateau pendant toute la durée de l'épreuve. Il suggère alors que la dégradation s'est effectivement produite mais très rapidement pendant les premières minutes.

e) Conclusions :

Dans une situation de vigilance, il y aurait lieu de distinguer la difficulté de perception qui est un problème général de vision et la difficulté de maintien de l'état vigile au cours du temps.

La difficulté de perception des signaux serait déterminée conjointement par :

- la durée,
- l'intensité relative,
- la topographie spatiale des signaux.

La difficulté du maintien de l'état vigile serait conditionnée par :

- la difficulté de perception,
- la rareté,
- l'irrégularité des signaux,
- la longueur de la tâche.

Nous ne considérons ainsi que les facteurs intrinsèques à la tâche de vigilance. Nous n'oublions pas les facteurs externes - ceux de l'environnement - susceptibles de jouer un rôle important en vigilance (bruit - chaleur en particulier).

4 - Influence de l'origine de l'échantillon

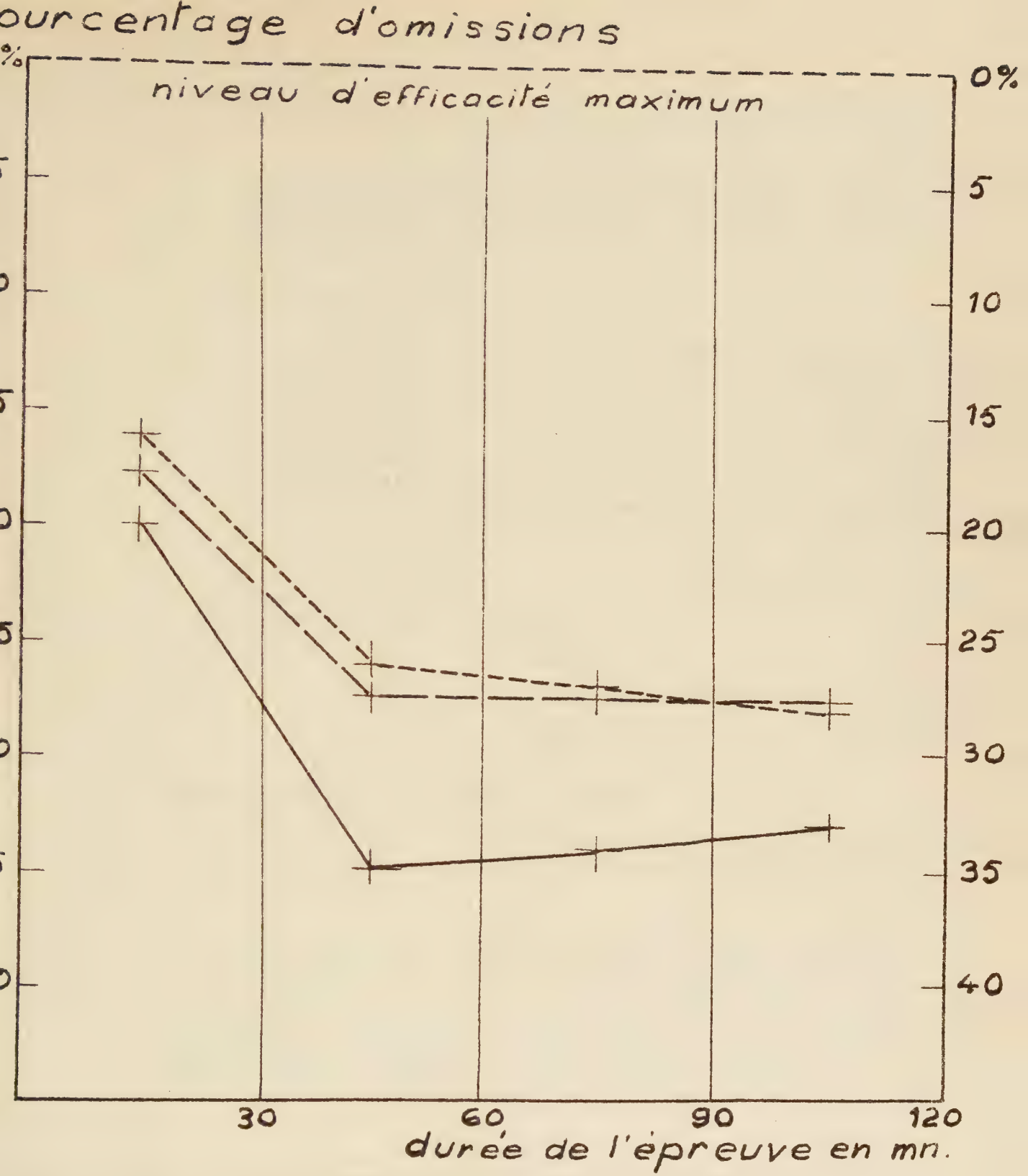
Notre groupe de sujets peut être considéré comme homogène. Les trente sujets, à quelques exceptions près, sont des agents techniques de laboratoire ou d'étude ; un seul est de sexe féminin. L'habitude de la précision, le souci du détail peuvent être présentés comme leurs caractéristiques communes, et expliquent que cet échantillon ait supporté un protocole expérimental sévère. Mais n'ayant pas eu l'occasion de comparer deux échantillons différents, nous ne pourrions conclure sur l'influence de l'échantillon si MACKWORTH ne nous apportait pas un élément supplémentaire. L'auteur a pu comparer deux groupes constitués l'un de 25 cadets de la R.A.F., l'autre de 25 matelots. Les courbes représentatives des performances de ces deux groupes sont pratiquement confondues. Sur la figure V.6, nous comparons les courbes correspondantes des trois échantillons dont nous venons de parler.

Il apparaît bien que les caractéristiques du protocole expérimental interviennent beaucoup plus fortement que l'origine de l'échantillon pour expliquer les différences des résultats, qui portent sur l'amplitude du phénomène et non sur sa nature.

5 - Effet d'apprentissage

La répartition des réponses inutiles groupées en grande majorité dans le 1er quart d'heure du test tend à prouver qu'un effet d'apprentissage existe au début de l'épreuve malgré la précaution prise de s'assurer de la perception correcte de 3 signaux consécutifs avant le début proprement dit. La présence d'artéfacts sur le film, obligeant au début tout au moins, à un effort de discrimination, expliquerait cet apprentissage.

Il est donc permis de penser qu'un certain pourcentage des omissions relevées pendant la 1ère demi-heure sont imputables à cet effet d'apprentissage et que la dégradation constatée serait encore plus accusée si l'effet d'apprentissage n'existait pas.



nfluence de l'origine de l'échantillon

Renault
cadets RAF
matelots
} d'après MACKWORTH

Fig V 5

6 - Il n'existe pas d'amélioration de la performance en fin d'épreuve

Cette amélioration pourrait être suggérée par une légère remontée de la courbe en 3ème et 4ème demi-heure. En fait, ces différences sont loin d'être significatives. Par ailleurs, l'interview établit que la majorité des sujets ont été surpris par la fin de l'épreuve qu'ils croyaient plus lointaine.

7 - A propos de la monotonie de l'épreuve

Le film de la route est projeté essentiellement pour reproduire l'essentiel de la situation de conduite. Du long défilé de ce ruban de route sur lequel, il ne passe rien, nous avons aussi attendu un effet de monotonie. Et pourtant cette route de forêt d'hiver n'est pas sans posséder des charmes ; et la beauté des arbres, le liseré de neige des bas-côtés, les jeux de lumière dans les arbres ou dans les flaques d'eau sont des détails susceptibles de retenir, donc d'entretenir l'attention. Toutefois, les impressions des sujets laissent penser que le film a été ressenti, de façon générale, comme une vision monotone.

Il serait intéressant de savoir si des signaux rares et faibles sont perçus sans défaillance quand l'environnement est encore plus riche que dans notre dispositif :

- film varié,
- audition d'un programme musical ou parlé,
- possibilité de choix personnel du programme visuel ou sonore.

II - INTERVIEWS RELATIVES A L'EPREUVE DE VIGILANCE

Nous avons cherché à établir des corrélations entre les résultats expérimentaux et les données de psychologie clinique obtenues par interviews des sujets après l'épreuve.

Mais la correspondance entre les réponses aux interviews et leurs auteurs n'ayant pas été consignée pour tous les sujets, il ne nous est pas permis une exploitation profonde de ces données psychologiques. Aussi, nous limitons cette étude à la présentation des résultats obtenus (classification des réponses en pourcentage) sans rechercher de corrélations statistiques proprement dites. Cependant, le rapprochement de certaines données de psychologie clinique et expérimentale paraît extrêmement fructueux.

QUESTIONNAIRE :

"Quelle a été la durée totale de l'épreuve ?"

"Aviez-vous l'impression que la fin du test était proche ?"

"Seriez-vous prêt à continuer plus longtemps ?"

"Y a-t-il une partie de l'épreuve qui vous a semblé plus facile, plus agréable ? Laquelle ?"

"Quelle a été votre disposition d'esprit pendant l'épreuve : étiez-vous passif, uniquement centré sur le travail de détection ou assailli par des idées, des préoccupations personnelles ?"

"A certains moments avez-vous ressenti un besoin impérieux de dormir ? Quand ?"

"Avez-vous eu l'impression de vous être particllement assoupi quelques instants ? Quand ?"

"Vous souvenez-vous avoir baillé ? Quand ?"

A) - LA NOTION DU TEMPS

La perte de la notion du temps est une caractéristique retrouvée chez la majorité des sujets. Il n'y a pas lieu de s'en étonner, l'estimation du temps étant une opération intellectuelle des plus difficiles. Mais cette notion du temps étant étroitement liée à celles d'ennui, de monotonie et donc de vigilance, il nous semble intéressant de préciser les modalités de notre étude dans ce domaine.

1 - Conditions expérimentales

a) Le sujet est isolé :

Le sujet est seul, privé de toute information extérieure à sa tâche :

- il est dépossédé de sa montre à l'entrée de la salle d'expérience.
- la salle insonorisée ne lui permet pas de percevoir des bruits de l'extérieur.
- aucune intervention de l'opérateur ne viendra interrompre sa tâche.

b) Données relatives au temps fournies par la consigne :

La durée totale était suggérée par les seuls mots "l'épreuve dure assez longtemps mais vous aurez terminé avant 18 heures". Cela donnait une idée très vague de la durée tout en assurant au sujet qu'il serait libre avant l'heure de sortie de l'usine. Par ailleurs le nombre de signaux était annoncé "de l'ordre de vingt par heure".

2 - Questions posées - Mode d'interprétation des réponses

Deux questions furent posées relatives au temps :

- Quelle a été la durée totale de l'épreuve ?
- Aviez-vous l'impression que la fin de l'épreuve était proche.

Interprétation de la 1ère question :

Les réponses sont groupées en 3 classes :

- notion du temps conservée : erreur de $\pm$ 10 minutes.
- perte partielle de la notion du temps : erreur de $\pm$ 15 minutes.
- perte complète : erreur $\pm$ 20 minutes et plus.

Interprétation de la 2ème question :

La réponse se faisait par oui ou par non.

Une 3ème question fut parfois posée : Quelle était la durée moyenne de l'intervalle ?

3 - Résultats -

a) Perte de la notion du temps :

- perte complète : 52 %
- perte partielle : 41 %
- conservation : 7 %

Quelques exemples de réponses illustrent ces pourcentages :

Sujet 17 : durée estimée : 1 h 30
durée réelle : 2 h 20

Sujet 29 : durée prévue (par le sujet) : 1 h 40
durée estimée : 1 H 20
durée réelle : 2 h 16.

b) Sous-estimation du temps :

- l'estimation de la durée fut toujours inférieure à la durée réelle.

- nous reviendrons dans la discussion sur cette sous-estimation systématique.

c) Evaluation de l'intervalle moyen :

- Les réponses obtenues montrent la difficulté d'estimer l'intervalle ; certains sujets étaient dans l'impossibilité de se prononcer entre 2,10 ou 30 minutes.

- Rappelons que la valeur réelle est de 4 minutes environ.

d) Pressentiment de la fin :

- Attendaient la fin : 46 %
- Ne l'attendaient pas : 53 %

Ce résultat permet d'exclure une amélioration de la performance en fin d'épreuve par un effet psychologique sur le comportement.

B) - CARACTERE PENIBLE DE L'EPREUVE

La question : "Seriez-vous prêt à continuer l'épreuve plus longtemps ?" vise à préciser la façon dont la situation est vécue par le sujet : la situation est-elle supportable ? Pourrait-on la prolonger plus longtemps ?

Les réponses se groupent ainsi :

- continueraient : 69 %
- ne continueraient pas : 19 %
- sans avis : 12 %.

Signalons que deux sujets ont trouvé l'épreuve très pénible :

- sujet 18 : 14 omissions, quitte le laboratoire avec des maux de tête qui auraient persisté le lendemain.
- sujet 27 : 12 omissions, accuse des maux de tête pendant l'épreuve, était atteint de sinusite depuis longtemps.

C) - EFFET D'ADAPTATION

Nous nous sommes demandés si la situation est vécue par le sujet sur un mode uniforme pendant toute la durée de l'épreuve. La question : "Y a-t-il une partie du test qui vous a semblé plus facile, plus agréable et laquelle ?" a reçu les réponses suivantes :

Tous les sujets ont trouvé une période plus agréable :

- la fin : 70 %
- le milieu : 15 %
- le début : 15 %

La grande majorité des sujets se sent donc plus à l'aise en fin d'épreuve sans que cette impression entraîne une amélioration de la performance.

Il ne nous paraît pas possible de donner une interprétation de ce résultat qui peut traduire un effet d'adaptation ou toute autre chose. Nous reviendrons sur ce problème au cours de la discussion.

D) - TENDANCE A L'ENDORMISSEMENT

Nous avons cherché à mettre en évidence une tendance à l'endormissement ou un état ressenti comme tel par le sujet. Trois questions explorent ce domaine :

"A certains moments avez-vous ressenti un besoin impérieux de dormir et quand ?"

77 % des sujets ont ressenti ce besoin :

- au milieu : 92 %
- au début : 4 %
- à la fin : 4 %.

"Avez-vous eu l'impression de vous être partiellement assoupi quelques instants et quand ?"

43 % répondent par l'affirmative ; pour tous cette défaillance consciente se situe au milieu de l'épreuve. Ces défaillances sont perçues comme des absences* de courte durée. En fait, il est impossible au sujet de se faire une idée quelque peu précise de la durée réelle d'un "trou" dont il ne prend conscience que par une seule de ses limites, sa fin, c'est-à-dire le retour à la réalité.

Par ailleurs, toutes ces absences sont localisées au milieu de l'épreuve.

Remarque :

Nous pouvons souligner la valeur de ces résultats par la remarque suivante :

Si les sujets n'ont pas de raison de nier un assoupissement, il est possible que certaines absences légères et brèves aient échappé à leur conscience ; à l'opposé, il est peu probable qu'un sujet signale un assoupissement dont il n'a pas eu conscience. Autrement dit, les assoupissements que nous avons comptabilisés peuvent être considérés comme des données sûres ; le pourcentage obtenu constitue bien un minimum et c'est donc près de la moitié des sujets qui accuse une défaillance consciente de leur état vigile.

"Vous souvenez-vous avoir baillé et quand ?"

60 % des sujets s'en souviennent et localisent ainsi leurs baillements

- au milieu : 72 %
- à la fin : 17 %
- au début : 11 %.

La convergence des données qui établissent une forte tendance à l'endormissement vers le milieu de l'épreuve est tout à fait remarquable. Cette notion de milieu est évidemment imprécise et il ne peut pas en être autrement puisque nous savons la difficulté attachée à l'estimation correcte du temps.

Pourtant, il est possible d'obtenir des données valables, un exemple en sera l'illustration :

- Sujet 29 :

dit avoir ressenti un besoin impérieux de dormir à la fin du 1er tiers (ce qui correspond à une période située après la 45ème minute) ; ce sujet n'a fait que 3 omissions en 2 h 16 d'épreuve : elles sont précisément situées toutes les 3 dans le 2ème tiers. Par ailleurs, ce sujet a trouvé la fin du test plus agréable.

Pour ce sujet, la concordance est donc parfaite entre les données expérimentales et cliniques.

E) - TYPE D'ACTIVITE MENTALE DES SUJETS PENDANT L'EPREUVE

Schématiquement, on peut prévoir deux types de disposition intellectuelle des sujets pendant l'épreuve : ce qu'on peut appeler le vagabondage de la pensée opposé à la concentration de l'esprit sur la seule tâche de détection, l'alternance étant possible tout au long de la tâche.

La question posée est ainsi formulée :

"Quelle a été votre disposition d'esprit pendant le test ? Etiez-vous préoccupé seulement par la détection des signaux ou, au contraire, avez-vous pensé à beaucoup de choses ?"

- vagabondage : 48 %
- concentration : 21 %
- les deux : 31 %.

Parmi ces 31 % le plus grand nombre dit avoir été plus souvent "distrait" que "concentré".

Le sujet 29 qui a fait une très bonne performance (3 omissions pour 33 signaux : 2 h 16 d'épreuve) parle "d'une véritable dissociation entre l'activité cérébrale et la fonction visuelle".

Il n'est malheureusement pas possible de rechercher une corrélation entre l'attitude d'esprit et les résultats du comportement.

F) - DISCUSSION DES DONNEES DE L'INTERVIEW

1 - Remarque générale

Parce que les sujets se connaissaient souvent et pouvaient donc se communiquer des données et des impressions avant même la passation du test, nous pouvions émettre des réserves sur les résultats obtenus à l'interview. En fait, l'attitude psychologique des sujets permet de réfuter en partie cette critique. La majoration d'entre eux en effet formula des impressions personnelles, des remarques en particulier sur la valeur du dispositif comparé à la situation réelle de conduite, des suggestions d'aménagement du test ou des objets de recherche. Ces réflexions personnelles laissent penser qu'ils étaient également "personnels" dans les réponses qu'ils faisaient à l'interview proprement dite.

2 - A propos de la notion du temps

Deux faits ont été relevés : la perte de la notion du temps, sa sous-estimation systématique. Il nous paraît intéressant de pousser la réflexion sur ces faits, car ils ne sont pas étrangers à la monotonie - et nous nous posons deux questions :

"Pourquoi l'appréciation de la durée est-elle imprécise ? Pourquoi la durée est-elle toujours sous-estimée ?"

a) Pourquoi l'appréciation de la durée est-elle imprécise :

La situation du test, nouvelle pour le sujet n'a aucun rapport avec l'ambiance habituelle de la vie. Le sujet est isolé dans une chambre insonorisée, éclairée artificiellement par la projection du film. Sa montre lui ayant été retirée, il n'a donc aucun repère extérieur et doit se référer à son expérience intérieure de la durée. Le caractère forcément intuitif de son appréciation explique ainsi son imprécision.

"Nous ne percevons pas la durée indépendamment de ce qui dure"*

---

*Paul FRAISSE - "Psychologie du temps". P U F 1957 - page 116.

Toutes les citations de cette discussion sont extraites de cet ouvrage.

b) Pourquoi la durée globale est-elle toujours sous-estimée ?

- L'attention des sujets n'est pas centrée sur le temps qui passe :

Pour le sujet le temps est découpé par l'apparition des signaux. Seuls ces derniers ont de l'importance et ce qui se passe entre deux apparitions laisse le sujet indifférent et c'est donc plus aux limites de l'intervalle qu'à l'intervalle proprement dit que le sujet est sensible. Le sujet s'attache plus aux signaux qu'au temps perçu. "La perception des durées est fonction de nos attitudes dont la plus importante pourrait être l'attention au temps perçu. Plus cette attention est grande, plus l'intervalle paraît long". Cette conclusion de Paul FRAISSE (p. 145) est confirmée directement par l'étude expérimentale de Jerison (1959) dont les sujets doivent appuyer sur une clef chaque fois qu'ils estiment qu'une durée de 10 minutes s'est écoulée ; le test dure deux heures. Les sujets répondent à un intervalle moyen variant de 9,5 à 7 minutes selon les conditions. Le temps leur paraît long.

Les données que nous avons obtenues vont dans le sens de ces conclusions. L'attention de nos sujets n'est pas centrée sur la durée, le temps paraît court.

- Les évènements sont rares : la durée totale peut être sous-estimée par le fait que les évènements sont rares.

"La conscience d'une durée peut également naître de la conscience des changements qui s'y sont déroulés. En effet, plus les changements qui nous séparent d'un moment passé ou à venir sont nombreux, plus la durée de l'intervalle ainsi évoquée nous paraît longue". (P. FRAISSE, p. 198).

- Les sujets pensaient à autre chose :

Nous avons vu que la grande majorité des sujets pensaient à autre chose (rêves, préoccupations personnelles, familiales, professionnelles...) Quelques observations montrent que cette évasion n'altérait en rien la performance.

Nous pouvons en conclure que nombre de sujets échappaient à la monotonie donc à l'ennui en se réfugiant dans leur monde intérieur. Cette conclusion nous est suggérée par FRAISSE citant Lossack à propos de 75 % des ouvriers (chiffre révélé par des enquêtes dans l'industrie) ne souffrant pas de la monotonie de leur travail : "Certains peuvent trouver dans ces tâches une satisfaction suffisante, mais il paraît a peu près certain que d'autres s'y adaptent en s'en évadant, ce qui est assez facile dans la mesure où ces tâches ne requièrent que des automatismes" (p.205) Cette dernière explication de la sous-estimation de la durée due à l'évasion, involontaire d'ailleurs, semble bien la plus satisfaisante.

3 - Sur l'effet d'adaptation

70 % des sujets trouvent la fin de l'épreuve plus agréable, plus facile. Nous pourrions penser à l'effet psychologique du pressentiment de la fin prochaine, mais 53 % de sujets sont surpris par la fin de l'épreuve qu'ils croyaient plus lointaine. Une explication pourrait être recherchée dans une caractéristique du film, la fin pouvant se trouver être de meilleure qualité.

En définitive, ce sont d'autres faits qui semblent le mieux rendre compte du phénomène : l'existence d'unbesoin impérieux de dormir chez 77 % des sujets, la découverte de brefs assoupissements chez 43 % de ces mêmes sujets, besoin de dormir et assoupissements étant toujours localisés au milieu de l'épreuve. Ce rapprochement des faits suggère fortement que la sensation de facilité en fin d'épreuve n'est que relative à la difficulté de la période médiane rendue pénible par la lutte contre l'endormissement.

CONCLUSIONS GENERALES

L'épreuve de vigilance qui a été présentée dans notre travail a permis de mettre en évidence la dégradation de la vigilance entre la première demi-heure de l'examen et les suivantes. Ce phénomène a un caractère net : l'éventualité d'une absence de dégradation - si elle était soumise au hasard - ne se produirait que dans cinq pour cent des cas.

Pour qu'un accident se produise au cours d'une tâche longue et monotone - en l'absence de tout incident technique - il n'est donc pas nécessaire que le travailleur ou le conducteur soit malade, ivre ou endormi ; il suffit que la monotonie de la tâche ait permis l'apparition d'un état de vigilance abaissée sans toutefois qu'il y ait sommeil.

Nous avons distingué dans nos résultats le nombre global d'omissions (signaux non perçus) totalisé par un sujet et son indice de dégradation de vigilance. Cet indice est le rapport entre : d'une part, la demi-somme des erreurs des deuxième et troisième demi-heures et le nombre d'erreurs de la première demi-heure d'autre part. Le nombre global d'erreurs détermine la qualité de la détection, l'indice de dégradation exprime la capacité du sujet à maintenir sa vigilance pendant l'épreuve. Ces deux variables ne sont pas indépendantes. Il existe une corrélation très significative établissant que les sujets les meilleurs à la tâche de détection le sont aussi pour lutter efficacement contre la baisse de vigilance au cours de l'épreuve.

L'intervalle de temps entre les signaux et leur répartition dans l'espace n'interviennent pas de façon significative sur nos résultats.

De nos propres expériences et de l'ensemble expérimental présenté dans la revue de littérature, une loi psychophysiologique se dégage clairement : l'incapacité - pour le sujet normal - de soutenir, avec la même efficacité, un effort de surveillance continue dans des conditions déterminées de monotonie.

L'importance de cette dégradation est soumise à de nombreux facteurs. Il faut les rattacher non seulement à la nature de la tâche poursuivie, mais aussi à l'individu et à l'environnement.

Les caractéristiques de la tâche définissent un type de situation dans lequel les défaillances humaines par baisse de vigilance peuvent être invoquées. Ces caractéristiques soulignent bien les limites de validité de la loi de dégradation du comportement mise en évidence. Précisons pourtant que ces limites tendent à englober un champ d'activité de plus en plus étendu avec la multiplication actuelle des situations de contrôle et de surveillance dans les domaines de l'industrie et du transport.

Les variations individuelles sont considérables et encore mal expliquées. Si des différences innées et acquises sont certainement en cause, les variations temporaires de l'état physiologique chez un même sujet interviennent aussi de façon prépondérante. Il en est ainsi d'une privation même modérée de sommeil.

L'influence des conditions d'environnement n'est pas toujours prouvée. L'effet de la chaleur sur la vigilance est clairement établi. L'action du bruit a été peu étudiée dans la situation de vigilance proprement dite et les quelques résultats obtenus ne sont pas absolument convaincants. Par contre, il existe des preuves expérimentales de l'effet dégradant du bruit sur la performance dans des tâches visuelles peu éloignées des situations de vigilance. Ces premiers résultats ouvrent la voie à des investigations plus poussées dans ce domaine.

Le fait que la dégradation de la performance apparaisse comme une conséquence de la monotonie portait à penser que la modification du comportement traduisait une baisse de l'éveil, une diminution de la réactivité centrale. Mais cet état pouvait n'avoir que de lointains rapports avec l'endormissement. Les résultats obtenus à l'interview des sujets imposent nettement la notion d'une tendance à l'endormissement avec des signes de somnolence vraie.

Les efforts fournis pour établir une interprétation théorique des phénomènes observés n'ont pas encore donné des résultats entièrement satisfaisants. En fait, si les supports physiologiques de la régulation de l'état vigile sont actuellement mieux connus, l'interprétation de la dégradation proprement dite de la vigilance reste encore du domaine des hypothèses.

L'effort de recherche doit donc être poursuivi sur les plans théorique et pratique. Sur le plan pratique, deux directions semblent intéressantes :

- la recherche des facteurs qui accentuent la dégradation de l'état vigile pour pouvoir ensuite mieux les combattre,

- la recherche des conditions qui favorisent le maintien du niveau de vigilance pour pouvoir les faire intervenir et mettre le conducteur, le travailleur, à l'abri des conséquences de ses propres défaillances.

Il est d'ailleurs bien probable qu'en connaissant mieux l'ensemble de ces facteurs, nous répondrons aussi plus facilement aux problèmes théoriques posés par les mécanismes physiologiques mis en jeu dans le maintien de l'état vigile et sa dégradation.

Vu

Le Président

Th. ALAJOUANINE

Vu
et Permis d'imprimer

Le Recteur
de l'Académie de Paris

J. SARRAILH

Vu

Le Doyen

L. BINET

Direction des Recherches Scientifiques - R.N.U.R. Editeurs (Billancourt)

BIBLIOGRAPHIE

ADRIAN E.D., BREMER F. & JASPER H.H. — Brain mechanisms and consciousness (Synposium) MASSON & C° E^dts 1954

ALAJOUANINE Th. — "Les altérations des états de conscience causées par les désordres neurologiques". Rapport présenté au VIème Congrès International de Neurologie. (Bruxelles, 21 - 28 Juillet 1957)

ANDLAUER P. — Les variations de fréquence horaire des accidents du travail dans les industries à feu continu. Le travail humain XIX - 3 - 4 Juillet - Décembre 1956 PUF. Paris

ARMINGTON J.C. & MITNICK L.L. — Electroencephalogram and slepp deprivation J. Applied Physiol. 1459 14 2

BAKAN P. — Discrimination decrement as a function of time in a prolonged vigil. J. Exp. Psychol. 50, 387 - 390 (1955)

BAKER C.H. — Attention to visual displays during a vigilance task I. Biasing attention The Bristish Journal of Psychology Vol. 49 Part. 4 November 1958 University Press, Cambridge

BAKER C.H. — Attention to visual displays during a vigilance task. II maintaining the level of vigilance The British Journal of Psychology Vol. 50 Part 1 February 1959

BEGOIN D.P. — Le travail et la fatigue La Raison 20 - 21 1 : 1958

BEXTON W.H., HERON W. & SCOTT T.H. — Effects of decreased variation in the sensory environments Canada J. Psychol. 1954 8, 80 - 76

BLOCH V. — Travaux récents sur le réflexe psychogalvanique l'année Psychologique 51ème Année (1949) 249 - 257

BLOCH V. — Nouveaux aspects de la méthode psychogalvanique ou électrodermographique comme critère des tensions affectives. L'année Psychologique 1952 - 2 - 329 - 362

BLOCH V. — Sur les conceptions actuelles de l'émotion J. Psych. 1954 n° Spec. 79 90

BONVALLET M. — Les relations entre l'activité corticale et l'activité réticulaire
Actualités neurophysiologiques
1ère série 1959 MASSON & C° E^ds PARIS

BONVALLET M., DELL P. & HIEBEL G. — Tonus sympathique et activité électrique corticale
EEG cliniq. Neurophysiol.
G. 119-1954

BONVALLET M., HÜGELIN A. & DELL P. — Milieu intérieur et activités automatiques des cellules réticulaires mésencéphaliques.
J. Physiol. PARIS 48 403 - 406 - 56

BOREST A., GILBERT A.P. — Prévention de la fatigue visuelle chez les lecteurs de scope-radar.
Médecine Aéronautique 4 - 1956 - 403

BOVARD E.W. — The effects of social stimuli on the response to stress
The Psychol. Review. 66 - 5 - 1959

BREMER F. TERZUOLO C. — Nouvelles recherches sur le processus physiologique du réveil
Archives int. Physiol. 61-86 - 1952

BREMER F. & TERZUOLO C. — Contribution à l'étude des mécanismes du maintien de l'activité vigile du cerveau
Interaction de la formation réticulée et de l'écorce cérébrale dans le processus du réveil.
Arch. Int. Physiol. 12.157 - 1954

BROADBENT D.E. — Some affects of noise on visual performance
Quart. J. Exp. Psychol.
6 - 1-5 - 1954

BROADBENT D.E. — The vigilant man and the active man
The Advancement of Science 53 June 1957

BROADBENT D.E. — Perception and Communication
Pergamon Press London 1958

BUJAS Z. & PETZ B. — Etude comparative de certains tests de fatigue.
Le Travail Humain - XIX - 3-4 Juillet-Décembre 56 193 - 207.

BURCH N.R. and GREINER T.H. — Drugs and Human Fatigue - : Galvanic skin reflex parameters -
The Journal of Psychology January 1958 45 first half

BURSILL A.E. — The Restriction of peripheral vision during exposure to hot and humid conditions
Quart. J. Exp. Psychol.
10, 113 - 129

BUSER P. — Quelques problèmes posés à propos de l'interprétation de l'activité électrique du cortex cérébral
l'Année Psychologique 51ème année (1949) 137 - 157

CHALMET - SAINT JUST R. — Evolution des idées sur les accidents du travail
Bulletin du C.E.R.P. 1956 - VI - 2

COLEMAN, P.D., FLORENCE E.G. WATANABE K., AREY D. — Electroencephalographic correlates of reaction time during slepp
Quatermaster Research and Engineering center
US Army - Natick, Massachusetts Contact n° DA 19 - 129 QM 360 - 1958

DAS & GASTAUT — Variations de l'Activité électrique du cerveau, du coeur et des muscles squelettiques au cours de la méditation et de l'extase yogique.
EEG. Cliniq. Neurophysiol.
1957 Suppl. n° 6

DECHAUME J., JOUVET M., and Coll — Etude neurophysiologique de l'attention chez l'homme
Ses mécanismes sous-corticaux
Lyon Médical 10 nov. 1957 n° 45 - 473 - 480 -

DEESE J. — Some problems in the theory of vigilance
Psychol. Revue 62, 359 - 368 (1955)

DELAY J. — Les ondes cérébrales et la psychologie P U F
Paris 1950

DELL P., BONVALLET M., & HUGELIN A. — Tonus sympathique, adrénaline et contrôle réticulaire de la motricité spinale
EEG Clinique Neurophysiologique
G. 599 - 1959

DELL P. et BONVALLET M. — Contrôle direct et réflexe de l'activité du système réticulé activateur ascendant du tronc cérébral par l'oxygène et le gaz carbonique du sang.
CR. Soc - SIOL 748 855 1954

DHERS — Essai de critique théorique des tests de fatigue
Paris thèse médecine 1924 - 187 p.

DENIS André — Les microvibrations du corps témoin du tonus physiologique
Revue neurologique Tome 95 p. 503

DUMONT S., DELL P. — Facilitation spécifique et non spécifique des réponses visuelles corticales.
J. de Physiol. 1958 50 - Z pp 261 - 264

DURUP G. & FESSARD A.
Observations psycho-physiologiques relatives à l'action des stimuli visuels et auditifs
L'Année Psychologie 1935, 36 - P.1 - 32

DURUP G. & FESSARD A.
Données quantitatives sur les effets produits par les stimuli visuels et auditifs.
C.R. Soc. de biol. 1936 - 122 P.756-758

ELLIOTT E.
Auditory vigilance tasks
The Advancement of Science 53 June 1957

EVRARD E.
Le clignement des yeux, cause possible d'accidents aériens
In Medical Aspects of Flight Safety Pergamon Press
PARIS 1959

FACON E., STERIADE M., WERTHEIM N.
Hypersomnie prolongée engendrée par des lésions bilatérales du système activateur médial. Le système thrombotique de la bifurcation du tronc basilaire
Revue neurologique 1958 - 98 2 117 133

FAURE J.
Sur des variations concomitantes de l'activité électrique cérébrale et de la résistance de la peau
Jour. de Physiologie (et de patho. génér.)
1951 - 43 - 723 - 725

FAURE J.
Influence des facteurs hormonaux et métaboliques
Revue neurologique 1959 - 100 - 4 - 255 - 269

FESSARD M.A., GASTAUT H., LEONTIEV A.N., de MONTPELLIER G., PIERON H.
Le conditionnement et l'apprentissage
Symposium Strasbourg 1956
PUF. 1958

FLOYD and WELFORD
Symposium on Fatigue
The Ergonomics Research Society 1955 - 196 A

FRAISSE P.
Psychologie du temps
PUF. PARIS 1957

FRASER D.C.
The relation of an environmental variable to performance in a prolonged visual task
Quart. J. Exp. Psychol. 5,31 - 32, 1953

FRAZER R.
Neurotics in Industrie
The Bristish Journal of industrial safety
XXXIII - 1955 - 140

GASTAUT H.
L'activité électrique cérébrale en relation avec les grands problèmes psychologiques
l'Année Psychologique 51ème année (1949)
61 - 88

GASTAUT H. — Données actuelles sur les mécanismes physiologiques centraux de l'émotion. Psychologie Française 1958 III - 1.

GOLD D.C., PERKINS W.J. — A miniature electroencephalograph telemeter system ELECTRONIC ENGINEERING 31 pp 337 - 339 (Juin 1959)

GREINER T.H. et BURCH N.R. — Response of Human Galvanic Skin Reflex to Drugs that Influence Reticuler Formation of Brain-Stem Feder. Proceeding 1955 - 14 - 346

HALVERSON and NEWHALL — Eye Movements correlated with innervation of the orbicularis oculi Journal of general Psychology (I) 1934 - 11 - 287 - 300 (II)1935 - 13 - 333 - 343

HERNANDEZ - PEON R., SCHERRER H. and JOUVET M. — Modification of electrical activity in cochlear nucleus during "attention" in unanesthetized cats - Science 123, 331 - 332

HOFFMANN A.C. and MEAD L.C. — The performance of trained subjects on a complex task of four hours duration Usosrd publ. Bd n° 20284 - 1943

HUGELIN A. — Structure et connexions de la formation réticulaire du tronc cérébral - Etude anatomo-physiologique - Thse Med - PARIS (Arnette Ed) 1954

HUGELIN A. et BONVALLET M. — Tonus cortical et contrôle de la facilitation motrice d'origine réticulaire J. Physiol. Paris 49 - 1171 - 1957

HUGELIN A. et BONVALLET M. — Etude expérimentale des interrelations réticulo-corticales - Proposition d'une théorie de l'asservissement réticulaire à un système diffus cortical. J. Physiol. PARIS 49 - 1201 - 1957

HUGELIN A. et BONVALLET M. — Contrôle cortical de l'activation ascendante d'origine réticulaire. Rev. Neurol. 1958 - 99 - 1 - 169 - 170

IRVINE D.H. — Visual Inspection as a vigilance task The Advancement of Science 53 JUNE 1957

JENKINS H.M. — The effect of signal rate on performance in visual monitoring Amer. J. Psychol. 1958 - LXXI - 4

JERISON H.J. — Experiments on vigilance JASA Nov. 1957 - 29-11 1163-1165

JERISON H.J.
Effects of noise on Human performance
Journal of applied Psychology
Vol. 43 - Numb.2 - April 1959

JOUVET M.
Aspects neuro-physiologiques de quelques mécanismes du comportement
J. Psychol. 1956 53 - 2 - 191 - 162

JOUVET M.
Etude neurophysiologique chez l'homme de quelques mécanismes sous corticaux de l'attention.
Psychologie Française II - 4

JOUVET M., et HERNANDEZ-PEON R.
Mécanismes neurophysiologiques concernant l'habituation, l'attention et le conditionnement
Conditionnement et réactivité en électroencéphalographie
Masson & Cie 1957- 39-49

JOUVET M. et COURJON J.
Variations des réponses visuelles sous corticales au cours de l'attention chez l'homme
Revue Neurol. 1958 - 99-1 - 177-178

JOUVET M., SCHOTT B., COURJON J. et ALLEGRE G.
Documents neuro-physiologiques relatifs aux mécanismes de l'attention chez l'homme
Revue neurol. 1959 - 100-5 437-450

JUNG, GREUZFELDT et BAUMGARTNER
"Microphysiologie des neurones corticaux"
Microphysiologie comparée des éléments excitables
Edts CNRS 1957

KAPPAUF W.E., PAYNE M.C. and POWE W.
Performance decrement in relation to task difficulty
University of Illinois Memorandum Report H.G. ; USAF Contract n° AF 33(038) - 25726

KREINDLER A. et STERIADE M.
La physiologie et la physiopathologie du cervelet
Masson & Cie Eds PARIS 1958

LAIRY G.C.
Organisation de l'électroencéphalogramme normal et pathologique - aspect clinique
Revue neurolo. 1956 - 94-6 - 749-801

LAIRY G.C. et DELL P.
La régulation de l'activité corticale : aspects psychophysiologiques et psychopathologiques
Conditionnement et réactivité en électroencéphalographie
Masson et Cie Ed. PARIS 1957 - 341 - 390 -

LE GUILLANT
La Névrose des Téléphonistes
La presse Médicale 15 Février 1956

LEVY - LEBOYER — Etude expérimentale des aspects objectifs et subjectifs de la fatigue pendant un travail monotone
Le Travail Humain XIII - 3-4 Juillet-Décembre 1955

LINDSLEY D.B. — Emotion : Bodily changes and their measurement
Handbook of Experimental Psychology
- J. Wiley and Sons Ind. New-York
- Chapman and Hall Ltd., London 1951

LINDSLEY D.B. — Psychological Phenomena and the EEG
Eeg Cliniq. Neurophysiol.
1952 - 4 - 443 - 456

LOEB M. and JEANTHEAU G. — The influence of noxious environmental stimuli on vigilance.
Journal of Applied Psychol. Vol. 42, n° 1 1958

MAC FARLAND — Human Variables in motor vehicle Accidents
1955 - P.44

MAC FARLAND — Human factors in Highway transport Safety 1954

MAC FARLAND — Human and Enviromental Factors of automobile Safety - S A E prepirint 1955

MACKWORTH N.H. — Researches on the Measurement of Human Performance Medical Research Council Special Report Series n° 268
H.M. Stationery Office 1950

MACKWORTH N.H. — Work designs and training for future industrial skills.
Journ. of Institut of Production Engineers
35 April 1956

MACKWORTH N.H. — Some factors affecting vigilance
The Avancement of Science
53 June 1957

MACKWORTH J.F. and MACKWORTH N.H. — Eye fixations Recorded on Changing Visual scenes by the Television Eye-Marker
J. Optical Society of America (July 1958)

MAGOUN H.W. — The waking brain
Ch. Thomas Edt. Springfield Illinois 1958

MANO — Aperçu neurophysiologique sur la formation réticulaire
La Presse Médicale - 1958 - 66 - 15 et 17
Masson Edt. PARIS

Mc CORMACK P.D. — Performance in a vigilance task as a function of interstimulus interval and interpolated rest.
Canad. J. Psychol. 1958 12 292 246

METZ B. — L'adaptation du travail à l'homme. Bulletin de l'AEP. N° 29 - 1958

MINISTERE des TRAVAUX PUBLICS, des TRANSPORTS et du TOURISME — Les accidents corporels de la circulation routière en 1957

MORUZZI G. and MAGOUN H.W. — Brain stem reticular formation and activation of the EEG
EEG cliniq. Neurophysiol. 1952-1.455

MORUZZI G. — Etude au moyen de micro-électrodes de l'influence cérébelleuse sur les unités bulboréticulaires.
in Microphysiologie comparée des éléments excitables Edts CNRS 1957

MOYNIER R. — Etude des fatigues périphériques et centrales au moyen de la mesure de l'excitabilité des cônes et les bâtonnets de la rétine traduite en courbes intensité-durée.
Société de Médecine Militaire Française n° 8 Mars 1956

MOYNIER R. et LAURU L. — Etude des troubles de l'équilibration et de la fatigabilité
Vème Congrès Technique National de Sécurité et d'Hygiène du Travail
13 - 16 Octobre 1954 Strasbourg -

OLSEN O. et BRICE R. — La fréquence critique de fusion du scintillement : Recherches concernant sa valeur en tant que test de fatigue.
La Médecine Aéronautique 4 - 1955.

PAILLARD J. — Psychologie des fonctions réactrices
Bulletin de Psychologie - IX - 4-6- 11 - 12

PARKER C.S., BREAKELL C.C. and CHRISTOPHERSON F. — The radioelectrophysiologogram
The lancet 1953 1285-1297

PASSOUANT P. — Etude synthétique de la physiologie du cervelet.
Rapport présenté à la XXIIème réunion neurologique internationale -
Paris - Juin 1958
Revue neurolog. 1958.98.6 557-612

PAVLOVA T.N. — Les modifications de l'activité nerveuse supérieure chez les mécanographes au cours de la journée de travail.
Extrait de "Revue de l'Activité Nerveuse Supérieure"
1954 - fasc. 2 -

POZNANSKAYA I.B. et EFIMOV V.V.
Influence de la fatigue intellectuelle sur l'activité réflexe conditionnée de l'homme
Extraits de "Arbeits physiologie" 1930 fasc.6

PROKOP R. PROKOP L.
Fatigue et Sommeil au volant de la voiture
Dtsch 2 Gerichll. Med. 1955 - 44 - 343 - 355

PROVINS K.A.
Environmental conditions and driving efficiency
A review.
Ergonomics vol.2 n° 1 p.97 1958

REMOND A.
Les pertes de connaissance ocultes, causes d'accidents inexpliqués.
Medical aspects of flight safety
Pergamon Press Paris 1959.

REMOND A., GABERSEK V.
Technique et méthode d'enregistrement des mouvements des yeux en clinique neurologique
Application à l'étude de la lecture
Revue neurolo. 1956 - 95-6 506-509

REMOND A. et LESEVRE N.
Remarques sur l'activité cérébrale des sujets normaux.
EEG clinic. Neurophysiol.
1957 suppl. n° 6 Masson et Cie Edts.

REMOND A. LESEVRE N. et GABERSEK V.
Approche d'une séméiologie électrographique du regard.
Revue neurologique 1957 - 96 n° 5 pp. 536 - 546

REMOND A. et RIPOCHE A.
Technique topographique : sur un compteur d'intégration, exemple d'utilisation
Revue neurologique 1958 99 - 1 - 179 - 186

REUCHLIN M.
Le temps comme source de variations expérimentales
Psychologie Française 1957 - 2 - 74 - 84

REYNOLDS D.J.
The coast of road accidents
Road Research Laboratory
Departement of Scientific and Industrial Research Part IV - 1956

RHINES R. and MAGOUN H.W.
Brain Stem Facilitation of cortical motor responses
J. Neurophysiol. 1946 - 9 - 219

ROELENS R.
La méthode d'étude des réflexes conditionnés moteurs avec renforcement verbal par I.A. Povorinski La Raison 14

ROSS. S, DARDANO J., HACJMAN R.C.
Conductance levels during vigilance task performance.
Journal of Applied Psychology
Vol. 43 Num. 1 February 1959

ROSSI G.F. and ZANCHETTI A.

The brain Stem reticular formation
Anatomy and Physiology
Archives Italiennes de Biologie
1957 - XCV - 3-4 199-438

ROTH J.G., COHEN S.I. and SILVERMAN A.J. & JOHNSON G.E., and CORREL E.G.

Bioelectric Measures during flight
The Journal of Aviation Medicine
Feb. 1958 - 29-2 - 139 - 144

SAMUELS I.

Reticular mechanisms and behaviour
Psychological Bulletin vol. 56, n° 1,
January 1959

SARNOFF C.A., HABERER C.E.

The techniques of Studging disturbances of consciouness at Altitude
The Journal of Aviation Medecine
30 4 pp. 231 - 240 Avril 1959

SCHWAB R.S.

Electroencephalography in clinical practice.
W.B. Saunders Company
Philadelphia - London 1951 -

SEM JACOBSEN C.W.

Electroencephalographic study of pilote stresses in flight
AEROSPACE MEDICINE 30 11 pp. 797 - 801
(November 1959)

SHOLL D.A.

The Organisation of the cerebral cortex
LONDON Mehuen and Cie
NEW-YORK J. Wiley and Sons - 1956

SIDALL G.J. and ANDERSON D.M.

Fatigue during prolonged performance on a simple compensatory tracking task
Quart. J. Exp. Psychol.
1955 - 7 - 159 - 165

SIVADON

Hygiène mental du travail
Archives des Maladies professionnelles de Médecine du Travail et de la Sécurité Sociale
XVII - 6 - Novembre-Décembre 1956 - 568-575

SIVADON et BALIER

Etude sur le travail rythmé
Le Travail Humain - XIIIème Année
3-4 Juillet - Décembre 1955 - 193 - 223

SOLOMON P. and COLL

SENSORY deprivation - A review
Am. J. Psychol. 1957 - 114 - 357 - 363

SOULAIRAC A.

Les bases physiologiques de la conscience
Bulletin de Psychologie 1956 - IX

STEXARD R.G., HILL V.L. and WAR MOTH E.J.

Non-Collision fatal accidents
How many can be prevented ?
Traffic Safety Vol. 3 n° 4 Dec. 1959

TOURNAY A. — La fixation attentive du regard et ses dérèglements
J. Psychol. normal et patho.
1947 - 40. 3. 257 - 280

URVOY et COLL — La fatigue nerveuse à la réservation d'Air-France
Etude du travail Février 1957

VIAUD G. — Le pouvoir réparateur du sommeil et sa mesure
Journal de Psycho : Norm. et patho.
40ème année - 2 - Avril-Juin 1947 195 - 231

WANG G.H. STEIN P. — Brain stem reticular system and galvanic skin reflex in acute decerebrate cats
Journal of Neurophysiology
1956 19 350-355

WANG G.H. STEIN P., and BROWN W.V. — Effets of transactions of central neuraxis Galvanic skin reflex in anesthesized cats
Journ. of neurophysiology
1956 - 19 - 340-349

WHITTENBURG J.A., ROSS S. and ANDREWS T.G. — Sustained perceptual efficiency as mesured by the Mackworth clock-test
Percep. and Motor Skills
6, 109 - 116 - 1956

WILKINSON R.T. — The effects of sleep loss on performance
Applied Psychol. Unit report n° 323 - 1958

WITTERSHEIM G., GRIVEL F., METZ B. — Application d'une épreuve de choix multiple avec enregistrement continu des réponses, des erreurs et des temps de réaction à l'étude des effets sensori-moteurs de l'inversion du rythme nyethéméral chez l'homme normal.
C.R. Soc. Biol. 1958 - TCL 11 - 7 - 1194

WYATT S., and LONGDON J.N. — Inspection processes in industry
Industrial Hlth. Research
Board Report n° 63 - 1932 H.M. Stationery Office.

TOURNAY A. — La fixation attentive du regard et ses dérèglements
J. Psychol. normal et patho.
1947 - 40. 3. 257 - 280

URVOY et COLL — La fatigue nerveuse à la réservation d'Air-France
Etude du travail Février 1957

VIAUD G. — Le pouvoir réparateur du sommeil et sa mesure
Journal de Psycho : Norm. et patho.
40ème année - 2 - Avril-Juin 1947 195 - 231

WANG G.H. STEIN P. — Brain stem reticular system and galvanic skin reflex in acute decerebrate cats
Journal of Neurophysiology
1956 19 350-355

WANG G.H. STEIN P., and BROWN W.V. — Effets of transactions of central neuraxis Galvanic skin reflex in anesthesized cats
Journ. of neurophysiology
1956 - 19 - 340-349

WHITTENBURG J.A., ROSS S. and ANDREWS T.G. — Sustained perceptual efficiency as mesured by the Mackworth clock-test
Percep. and Motor Skills
6, 109 - 116 - 1956

WILKINSON R.T. — The effects of sleep loss on performance
Applied Psychol. Unit report n° 323 - 1958

WITTERSHEIM G., GRIVEL F., METZ B. — Application d'une épreuve de choix multiple avec enregistrement continu des réponses, des erreurs et des temps de réaction à l'étude des effets sensori-moteurs de l'inversion du rythme nyethéméral chez l'homme normal.
C.R. Soc. Biol. 1958 - TCL 11 - 7 - 1194

WYATT S., and LONGDON J.N. — Inspection processes in industry
Industrial Hlth. Research
Board Report n° 63 - 1932 H.M. Stationery Office.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE :

BASES NEUROPHYSIOLOGIQUES DES ETATS DE VIGILANCE ET D'ATTENTION 12

I - PRESENTATION NEUROPHYSIOLOGIQUE DES FORMATIONS RETICULAIRES DU TRONC CEREBRAL 14

A - DONNEES ANATOMIQUES ET HISTOLOGIQUES 14

1. Eléments architectoniques 14
2. Connexions des formations réticulaires 16
   a) connexions efférentes 16
   b) connexions afférentes 18
3. Conclusions 19

B - DONNEES PHYSIOLOGIQUES 19

1. Effets facilitateurs 19
2. Effets inhibiteurs 20
3. L'influence corticale 20

II - LA REGULATION DE LA VIGILANCE 23

A - PARTICIPATION RETICULAIRE 23

1. Les facteurs nerveux 23
2. Les facteurs humoraux 23

B - ROLE DES AUTRES STRUCTURES CEREBRALES 24

1. Participation cérébelleuse 24
2. Participation rhinencéphalique 25
3. Participation thalamique 25
4. Participation hypothalamique 26
5. Participation corticale 26
6. Conclusions 27

III - DONNES PHYSIOLOGIQUES DANS DES SITUATIONS D'ATTENTION 28

A - SPECIALISATION DE CERTAINES STRUCTURES DANS CERTAINS COMPORTEMENT 28

B - MECANISMES SOUS-CORTICAUX DE LA REACTION D'ATTENTION 29
C - UNE ETUDE ELECTROPHYSIOLOGIQUE EN ATTENTION CONTINUE 30
D - CONCLUSIONS 31

DEUXIEME PARTIE :

L'HYPOTHESE DE TRAVAIL

I - UNE OBSERVATION INDUSTRIELLE 33

II - ANALYSE DES STATISTIQUES DES ACCIDENTS DE LA ROUTE 33
A - Les accidents de la route inexpliqués 33
B - La fréquence des endormissements 34
C - La localisation des accidents dans le temps de travail 34

III - DESCRIPTION DE LA CONDUITE AUTOMOBILE 34

IV - LES TRAVAUX DE ROSS MAC FARLAND 36
A - UTILISATION DES TESTS DE FATIGUE NERVEUSE CLASSIQUES 36
B - ENQUETES ET STATISTIQUES 36
1. Etudes statistiques 36
2. Enquêtes 37
C - ETUDES DE COMPORTEMENT 37
1. Epreuves d'extrême fatigue sur parcours d'obstacles 37
2. Epreuves sur parcours naturel difficile 37
3. Discussion 38
D - CONCLUSIONS 39

TROISIEME PARTIE :

LES MOYENS D'ETUDE

I - LES TESTS DE FATIGUE NERVEUSE 41
A - TESTS PSYCHOMOTEURS 41
1. Mesure des temps de réaction 41
a) Matériel 41
b) Résultats 41
c) Différentes modalités 41
2. Test d'attention diffusée 42
a) Description 42
b) Analyse 43

B - TEST D'EQUILIBRATION 44
1. Matériel 44
2. Résultats 44
3. Données physiologiques 44
4. Critique 44

C - TESTS VISUELS 45
1. Le test d'acuité stéréoscopique 45
a) Appareil 45
b) Critique 45
2. La fréquence critique de fusion du scintillement (F.C.S.) 45
a) Appareil 46
b) Résultats 46
3. Excitabilité rétinienne électrique 46
a) Description 46
b) Résultats 47
c) Critique 47

D - TESTS AVEC CONDITIONNEMENT PREALABLE 47
1. Description 47
2. Résultats 48
a) La désorganisation des processus d'action 48
b) Hypothèse sur l'horaire des accidents 49
3. Conclusions 49

III - LES METHODES D'EXAMEN PENDANT LE TRAVAIL 50
A - L'ELECTROENCEPHALOGRAPHIE (E.E.G.) 51
1. Généralités sur l'E.E.G. 51
2. Quelques données nouvelles sur le rythme alpha 52
3. L'E.E.G. dans les conditions de travail 53
4. Conclusions 54

B - L'ELECTRODERMOGRAPHIE (E.D.G.) 55
1. Appareil 55
2. Lecture des tracés 55
a) Les réactions rapides 55
b) Les variations lentes 55
3. Explication du phénomène 56
4. E.D.G. et vigilance 57

C - L'OCULOGRAPHIE 57
1. Techniquesutilisées 58
a) cinématographie 58
b) photographie 58
c) électromyographie 58
2. Résultats 59
a) clignements des paupières 59
b) mouvements des yeux 59
3. Conclusion 60

D - L'ETUDE DU COMPORTEMENT PAR EVALUATION DE LA PERFORMANCE 60
- Position du problème 60

E - CONCLUSIONS 61

QUATRIEME PARTIE :

REVUE GENERALE DE LA LITTERATURE
L'EXPERIMENTATION PSYCHOPHYSIOLOGIQUE
EN SITUATION DE VIGILANCE

I - LES EXPERIENCES DE VIGILANCE DE MACKWORTH 63
A - LE TEST DE L'HORLOGE 63
B - LE TEST DU RADAR 64
C - LE TEST DE VIGILANCE AUDITIVE 64
II - LES TRAVAUX ULTERIEURS 65
A - TESTS VISUELS 65
1. Dispositifs assimilables à ceux de MACKWORTH 65
2. Dispositifs différents de ceux de MACKWORTH 65
3. Surveillance visuelle et activité motrice ajoutée 67
B - TESTS AUDITIFS 68
III - EFFETS DES FACTEURS D'ENVIRONNEMENTS 68
A - EFFETS DE LA CHALEUR 68
1. Résultats de MACKWORTH 68
2. Résultats de BURSILL 69
B - EFFETS DU BRUIT 70
1. Résultats de BROADBENT 70
2. Résultats de JERISON 70
3. Résultats de WILKINSON 70

C - EFFET D'UN CONDITIONNEMENT COMPLEXE
Chaleur - bruit et vibrations associés 71

D - EFFET D'UNE PRIVATION DE SOMMEIL SUR LA PERFORMANCE EN SITUATION DE VIGILANCE 72
1. Test du Radar 72
2. Test du Radar modifié 72

CINQUIEME PARTIE :

ETUDE EXPERIMENTALE DE LA VIGILANCE EN CONDUITE AUTOMOBILE MONOTONE

I - ETUDE EXPERIMENTALE DE LA VIGILANCE EN CONDUITE AUTOMOBILE 74

A - LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL 74
1. Description du dispositif 74
a) Vue d'ensemble 74
b) Caractéristiques fondamentales du test de vigilance 74
c) Conditions de visibilité 75
2. Conditions psychologiques 75
a) Consigne 75
b) Motivations 76
3. Sujets participants 77
a) Nombre 77
b) Origine 77
4. Procédés d'enregistrements 77
a) Le programme-signal 77
b) Dispositif d'enregistrement 77
5. Originalité du dispositif 77

B - RESULTATS 78
1. Généralités sur le dépouillement des résultats 78
a) Lecture des enregistrements 78
b) Nombre d'erreurs totalisées ; rapport erreur/signal ; moyennes d'erreurs par sujet 78
c) Elimination des réponses inutiles 78
2. Evolution du niveau de vigilance pendant l'épreuve 79
a) Pendant les trois demi-heures consécutives 79
b) Estimation du niveau de vigilance dans la 4ème demi-heure 79

c) Variation des résultats entre sujets ; indice moyen de dégradation comparé chez les 30 sujets 80
d) Corrélation entre la qualité de la détection et le maintien de la vigilance 80
e) Corrélation entre le nombre d'omissions et le nombre de réponses inutiles pendant la 1ère demi-heure 80
3. Influence de la répartition des signaux dans le temps et dans l'espace sur la vigilance 81
C - DISCUSSION 81
1. La dégradation de la performance traduit l'effet de la baisse de vigilance et d'elle seule 81
2. La dégradation de la vigilance en situation monotone est une loi psychophysiologique 82
3. Données expérimentales relatives aux caractéristiques fondamentales de la situation de vigilance 83
a) Faiblesse des signaux 83
b) Rareté des signaux 83
c) Irrégularité des signaux 84
d) Longueur de la tâche 84
e) Conclusions 84
4. Influence de l'origine de l'échantillon 85
5. Effet d'apprentissage 85
6. Il n'existe pas d'amélioration de la performance en fin d'épreuve 86
7. A propos de la monotonie de l'épreuve 86
II - INTERVIEWS RELATIVES A L'EPREUVE DE VIGILANCE 86
Questionnaire 87
A - LA NOTION DU TEMPS 88
1. Conditions expérimentales 88
a) Le sujet est isolé 88
b) Données relatives au temps fournies par la consigne 88
2. Questions posées - Mode d'interprétation des réponses 88
3. Résultats 89
a) Perte de la notion du temps 89
b) Sous-estimation du temps 89
c) Evaluation de l'intervalle moyen 89
d) Pressentiment de la fin 89

B - CARACTERE PENIBLE DE L'EPREUVE 89
C - EFFET D'ADAPTATION 90
D - TENDANCE A L'ENDORMISSEMENT 90
E - TYPE D'ACTIVITE MENTALE DES SUJETS PENDANT L'EPREUVE 91
F - DISCUSSION DES DONNEES DE L'INTERVIEW 92
1. Remarque générale 92
2. A propos de la notion du temps 92
a) Pourquoi l'appréciation de la durée est-elle imprécise ? 92
b) Pourquoi la durée globale est-elle toujours sous-estimée ? 93
3. Sur l'effet d'adaptation 93

CONCLUSIONS GENERALES 95

BIBLIOGRAPHIE 98